



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ANEMOSTATU

PRODUCTION OF ANEMOSTAT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Bíba

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. David Bíba**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba anemostatu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma diplomové práce je zaměřeno na technologii výroby rotační součásti tažením. Součást je kuželového tvaru sloužící ke zkompletování a zabudování anemostatu, který je součástí vzduchotechnického zařízení.

Cíle diplomové práce:

- Analýza možných metod výroby součásti se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracování literární studie na vybranou technologii výroby,
- vypracovat návrh výroby součásti doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj a lisovací stroj, včetně základní výkresové dokumentace,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

VALBERG, S. Henry. Applied Metal Forming: Including FEM analysis. New York: Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0-521-51823-9.

TSCHATTSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.

MARCINIAK, Zdzislaw, John L. DUNCAN a S. Jack HU. Mechanics of sheet metal forming. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 7506 5300 0.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Milan HORÁČEK. Technologie II. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

BÍBA David: Výroba anemostatu.

Práce se zabývá návrhem součásti anemostatu o velikosti série 15 000 ks/rok. S přihlédnutím na kuželový tvar a rozměry součásti byla z variantního řešení vybrána technologie tažení bez ztenčení stěny z oceli DC04 o tloušťce 1 mm. Výsledným řešením je postupový nástroj složený ze 4 tažných operací. Tažidlo je navrženo z normalizovaných komponent. Návrh obsahuje postupový nástroj včetně výkresové dokumentace. Pro uvedený postup je navržen hydraulický lis CTH 400 o jmenovité tažné síle 4 000 kN.

Klíčová slova: Ocel DC04, anemostat, hluboké tažení, postupový nástroj, hydraulický lis

ABSTRACT

BÍBA David: Production of anemostat.

The thesis handle design of part of anemostat in size of series 15000 pcs/year. Due to conus shape and dimensions of part was chosen out of quantity of manufacturing processes a technology of deep drawing without a thinnig of 1mm thick DC04 steel. The resulting solution is progressive tool which concatenate four operations of deep drawing process. The drawing tool make use of standardised components. The design contain progressive tool including drawing documentation. Hydraulic press CTH 400 with nominal force 4000 kN is used for mentioned procedure.

Keywords: DC04 steel, anemostat, deep drawing, progressive tool, hydraulic press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BÍBA, David. *Výroba anemostatu*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/112953>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V dne 22.5.2019

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji svému vedoucímu práce Ing. Michaele Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Rovněž také děkuji svým rodičům a přítelkyni za podporu a trpělivost během celého studia na vysoké škole.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Varianty řešení.....	11
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	15
2.1 Počet tažných operací	19
2.2 Tažná vůle.....	21
2.3 Použití přidržovače	22
2.5 Tažná síla a práce.....	25
2.6 Konstrukce nástroje	27
2.6.1 Tažník.....	29
2.6.1 Tažnice a brzdná žebra	29
2.7 Volba stroje.....	31
2.8 Maziva	32
2.9 Tažení komolého kužele	33
2.10 Technologičnost.....	35
3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI	36
3.1 Velikost výchozího polotovaru	36
3.1 Stanovení počtu tažných operací	38
3.2 Získání polotovaru	40
3.3 Tažná vůle a použití přidržovače	41
3.4 Určení tažné síly a práce	42
3.5 Určení polohy stopky a volba stroje	44
3.6 Návrh nástroje.....	45
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	51
5 ZÁVĚRY	58

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresové dokumentace

ÚVOD [1], [2]

Při výrobě kovových součástí lze výsledný tvar získat několika různými technologiemi výroby, např. svařováním, odléváním, třískovým obráběním nebo tvářením. Většinou se druhy technologií kombinují, aby se dosáhlo co největší produktivity výroby, přesto mezi nejrozšířenější metody patří třískové obrábění a tvářením. Důležité parametry pro určení způsobu výroby jsou velikost vyráběné série, budoucí využití, kvalita zpracování a jiné.

Jedna z technologií vhodných pro výrobu tvarových dílců je tvářením. Tvářením se rozděluje na plošné a objemové. Při plošném tvářením lze za pomoci působení vnějšího zatížení změnit polotovar (rovinný přístřih plechu) a získat výsledný tvar. Do plošného tvářením se zařazují technologie stříhání, ohýbání, lemování, rovnání a tažení.

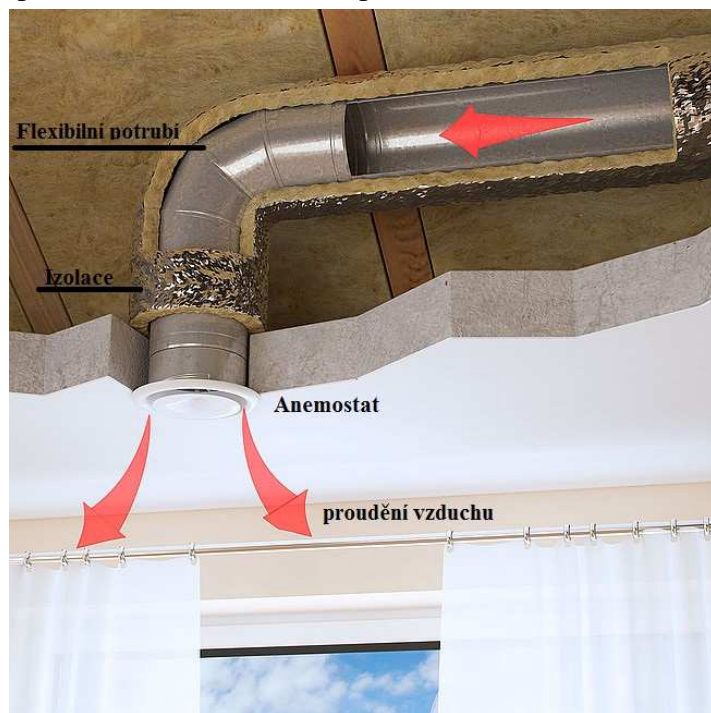
Tažení je proces, při kterém se z rovinného přístřihu plechu zhotovují součásti symetrického, nesymetrického či složitého hranatého tvaru. Příklady součástí zhotovených hlubokým tažením jsou na obrázku 1.



Obr. 1 Příklady součástí zhotovených tažením [3], [4], [5], [6]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [8], [9]

Vyráběným dílem je součást kruhového anemostatu (obr. 3). Anemostat slouží jako přívodní nebo odvodní element vzduchotechnické sestavy. Je umístěn do podhledu nebo pod strop, kde je napojen na vzduchotechniku a odvádí nebo přivádí vzduch. Jeho konstrukce spočívá na rovnoměrném proudění vzduchu do všech směrů. Efektivní výstupní rychlost nesmí být nižší než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při nižších rychlostech může docházet k odtržení proudu vzduchu

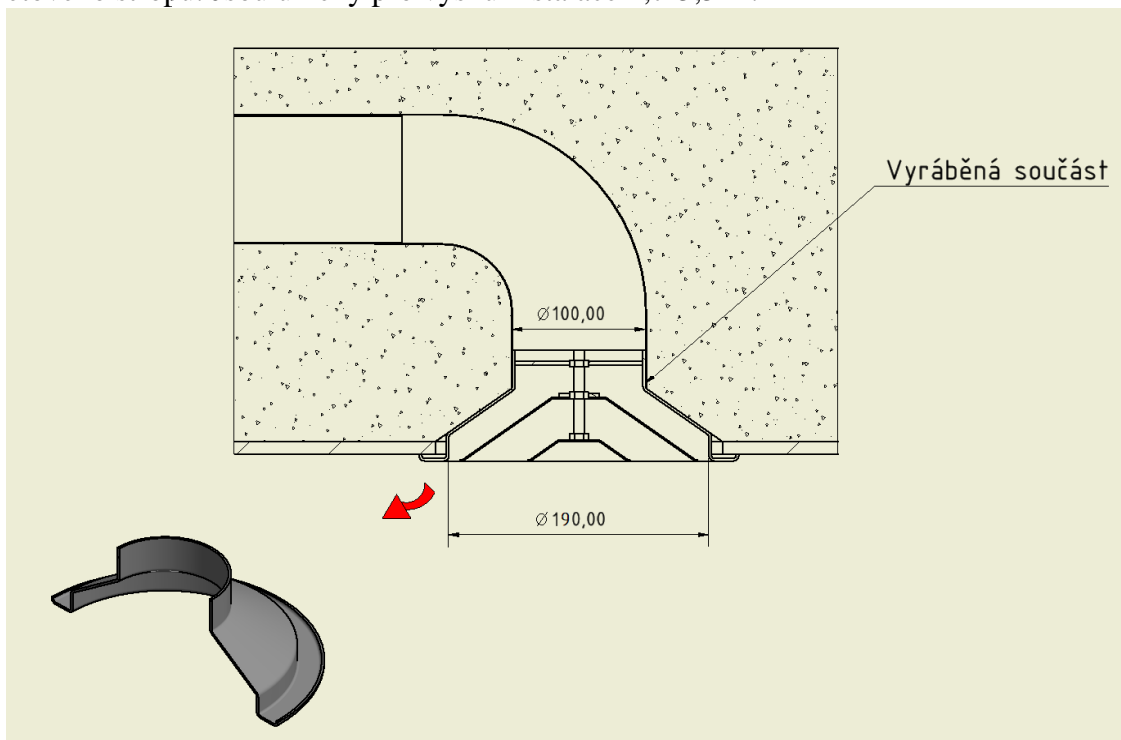


od stropu. Anemostaty jsou určeny do prostředí, které je chráněno od povětrnostních vlivů, bez kondenzace vody, námrazy, tvorby ledu. Teplota proudícího vzduchu musí být v rozsahu -20°C až $+70^{\circ}\text{C}$. Proudící vzduch musí být ošetřen od abrazivních, chemických a lepidlových směsí. Kruhový anemostat s nastavitelným středovým kuzelem lze i úplně zavřít a znemožnit průchod vzduchu. Jednotlivé části vzduchotechnické sestavy lze vidět na obrázku 2. Montáž se provádí

Obr. 2 Vzduchotechnická sestava s anemostatem [7]

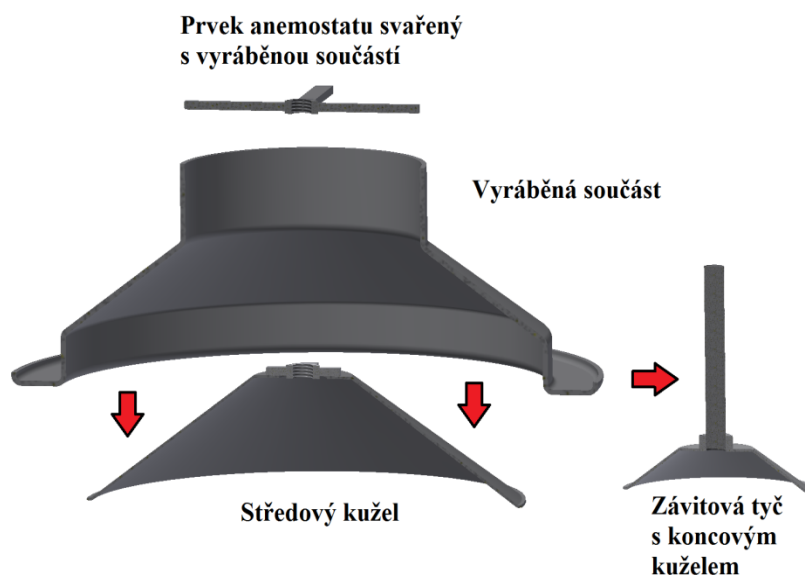
pomocí skrytých šroubů na hrdle nebo také pomocí desky do

kazetového stropu. Jsou určeny pro výšku instalace 2,7-3,5 m.



Obr. 3 Vyráběná součást

Anemostat se skládá z několika částí (viz obr. 4). K vyráběné části jsou přivařeny části plechu, které spolu s maticí a závitovou tyčí spojují všechny díly dohromady, kde pomocí vnitřních kuželů přes závit je možné regulovat průtok vzduchu. Tažená součást má konstantní



Obr. 4 Sestava anemostatu

tloušťku 1 mm. Počet vyráběných kusů je 15000 ks/rok. Provoz součásti bude v příznivých klimatických podmínkách, bez vlhkosti, bez korozních účinků vzduchu. Proto bude součást nalakována bílou barvou RAL9003. Těmito požadavkům na výrobu a tvar součásti nejlépe vyhovuje ocel 11305 (DC04). Chemické a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab.1.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení součásti. [10]

Značka oceli podle EN 10027-01	Mechanické vlastnosti				Chemické složení Hmotnostní podíl v %			
	Dolní mez kluzu Re [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A ₈₀ [%]	Tvrdost HV	C	P	S	Mn
DC04	220	270-350	min.37	max.95	0,08	0,03	0,03	0,4

1.1 Varianty řešení výroby [1], [12], [15], [18]

Výroba anemostatu je složena z několika druhů operací:

- Zhotovení přístříhu plechu z tabule plechu, či svitku.
- Získání prostorového tvaru vlastní výrobou součásti v jedné či více operacích
- Ostřížení součásti s prostřížením dna.
- Olemování krajů součásti.
- Svaření s držákem a nosnou konstrukcí pro zbylé prvky anemostatu.
- Povrchová úprava lakováním RAL 9003.

První operací k získání přístříhu se provede jednou z metod dělení materiálu. Realizovat dělení lze stříháním, vysekáváním, vodním paprskem, laserem či plazmou. Vodní paprsek, laser a plazma mají drahé pořizovací náklady strojů a jsou určeny pro velkosériovou výrobu. U těchto metod lze snadno změnit tvar výstřížku. Pro výrobu 15000 ks za rok lze použít jedna z těchto metod v kooperaci.

Získání požadovaného tvaru, který je ze dvou stran otevřený, umožňuje více variant výroby. První možností je v přístříhu plechu vytvořit otvor a následně součást podrobit jedné z metod tváření. Další varianta spočívá v opačném sledu a to nejdřív vytvořit prostorový tvar

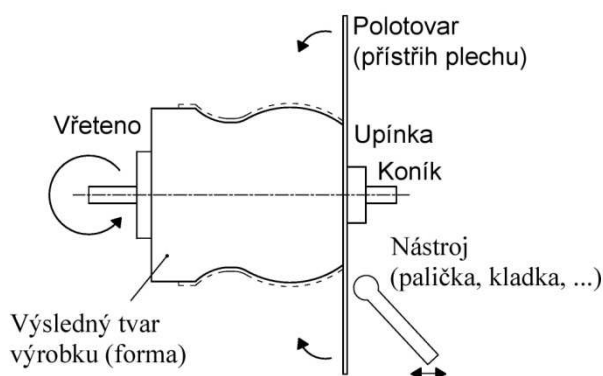
s následným prostřížením dna, což je výhodnější metoda. Výrobek má konstantní tloušťku plechu, a proto odpadají metody výroby se ztenčením stěny.

Dalším krokem je lemování viditelné hrany a přivaření tyčí, které jsou uprostřed spojeny s maticí. Protože se jedná o běžnou konstrukční ocel a svar nebude nést žádnou váhu a nebude jinak zatěžován vnějšími faktory, tak lze použít jednu z metod obloukového svařování.

Povrchovou úpravu lze docílit natíráním, válečkováním, namáčením či stříkáním barvou. V takto velké sérii odpadá povrchová úprava natíráním a válečkováním. Metody namáčením jsou náročné na pořizovací náklady, takže součást bude stříkána barvou.

Ve variantách řešení výroby jsou uvedeny metody bez zeslabení stěny, pomocí kterých lze docílit požadovaný tvar:

- **kovotlačení** - je rotační způsob výroby dutých těles. Na rozdíl od hlubokého tažení je velikost přístřihu o něco větší než průmět základny modelu. Na obr. 5 je vidět princip technologie kovotlačení, kde se nástrojem tlačí na plech, který kopíruje formu. Pohyb nástrojů může být buď ruční (paličky, kladky) nebo strojní (kladky). Jako stroj může být použit univerzální soustruh. Touto metodou lze tvářet plechy do tloušťky 1,5 mm.



Obr. 5 Schéma kovotlačení [11]

Kovotlačení se také používá jako dokončovací operace (lemování, rozšiřování, zužování apod.). Tato metoda je vhodná pro kusovou a malosériovou výrobu, kvůli nízké produktivitě. Při velkosériové výrobě by bylo zapotřebí drahého CNC kovotlačitelského stroje.

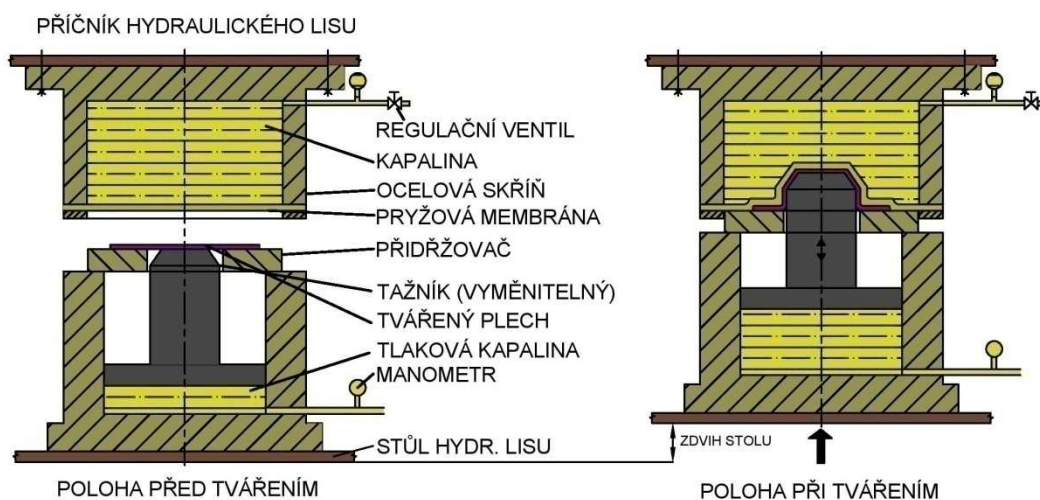
- **Marform** - tato metoda je vhodná pro hluboké tažení ocelových i neželezných kovů. Principem (obr. 6) této metody je vtláčování tažníku přes plech do nepevného nástroje (pryž). Díky jednoduchosti nástroje je možné ji použít v kusové či malosériové výrobě. Výška pryže musí být alespoň třikrát větší než výška výlisku, jinak by docházelo k rychlému opotřebování a ztrátě elasticity pryže. Nevýhodou



Obr. 6 Princip metody Marform [13]

této metody je poměrně větší spotřeba síly na překonání elasticity pryže a malá životnost gumy. Další nevýhodou je tažení tvarově složitějších součástí, kde pryž nedokáže zatéct.

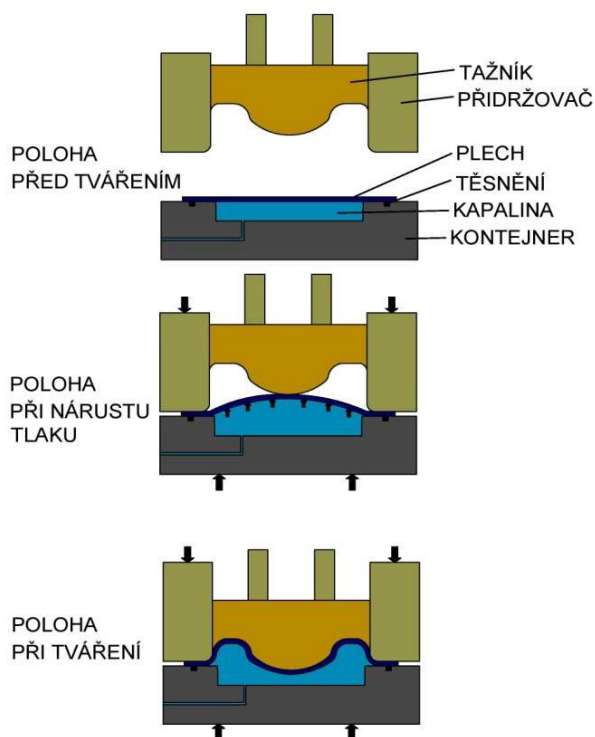
- Hydroform - metoda je vhodná pro zhotovování hlubokých výtažků. Na rozdíl od Marformu tato metoda využívá místo pryže nádoby s tekutinou, opatřené gumovou membránou (polštářem). Nádoba s vodou je přitlačována k přidržovači a je zvýšen tlak na hodnotu nutnou k tomu, aby se kraj výtažku nezvlnil a aby nedošlo k odtržení lemu. Vnikem pístu do nádoby se tváří materiál. Přebytky vody z nádoby jsou vypuštěny přes ventil pryč do sběrné nádoby. Ventil je nastaven buď na určitou hodnotu tlaku nebo na proměnnou hodnotu. Princip metody je uveden



Obr. 7 princip metody Hydroform [14]

na obr. 7. Životnost membrány se udává na 5000-10000 kusů výtažků. Výhodou této metody je tažení hlubokých a složitých výtažků, dále možnost regulace tlaku a působení konstantního tlaku po celé ploše tažníku. Tažník může být vyroben z méně kvalitních materiálů, jelikož v kontaktní ploše je jen nepatrné tření. Nevýhodou je drahé zařízení a složité utěsnění kapaliny.

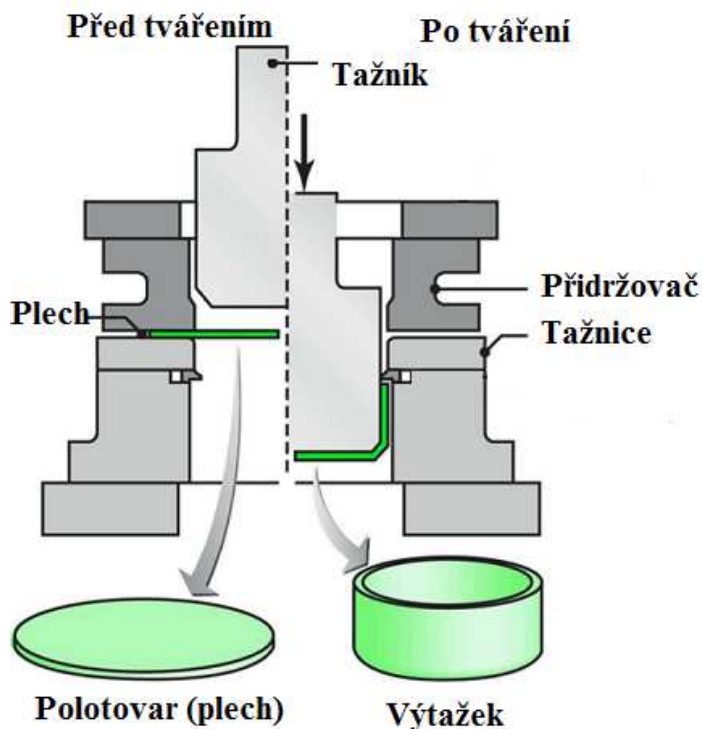
- Hydromechanické tažení – je vhodné pro hluboké tahy, díky použití pružného prostředí (tlaková kapalina). Princip hydromechanického tažení znázorňuje obr. 8. U této metody lze používat i přidržovače. Rovinný přístřih se nejprve napne pomocí tlakové kapaliny a následně je tažníkem vtlačován do



Obr. 8 Hydromechanické tažení [16]

oblasti tažnice. Vznikne tlak v celé komoře, pomocí něhož se celá plocha plechu přitlačí na tažník. Tlak je řízen pomocí ventilu. U složitějších tvarů může být kapalina přiváděna i nad materiál. Díky tomuto způsobu je možné vytvářet složité tvary, kde se zvýší tvařitelnost. Dále se také zlepši rozměrová přesnost, kvalita povrchu a odpadne potřeba mazání. Další výhodou je snížení pořizovacích nákladů na nástroj a snížení opotřebení matrice v porovnání s dalšími konvenčními procesy tváření plechů. Nevýhody nastávají v pořizovacích nákladech na zařízení a regulaci kapaliny. Nejvíce se tato metoda využívá při tažení sférických, kuželových a obecně tvarově složitějších součástí.

- Hluboké tažení - proces, při kterém je rovinný přístřih plechu nabalován na tažník a vtahován do otvoru tažnice. Polotovar je přetvořen do prostorového tělesa většinou ve více operacích. Jde o velmi rozšířenou metodu tváření, jejichž výhody pokrývají odlišné požadavky na tvar a velikost série. Zařízení se skládá z tažníku, tažnice případně z přídržovače. Tažník i tažnice jsou vyrobeny z pevného kovového materiálu. Pořizovací náklady na zařízení jsou přijatelné a trvanlivost je dána materiálem nástrojů. Princip metody je stručně zobrazen na obr. 9.

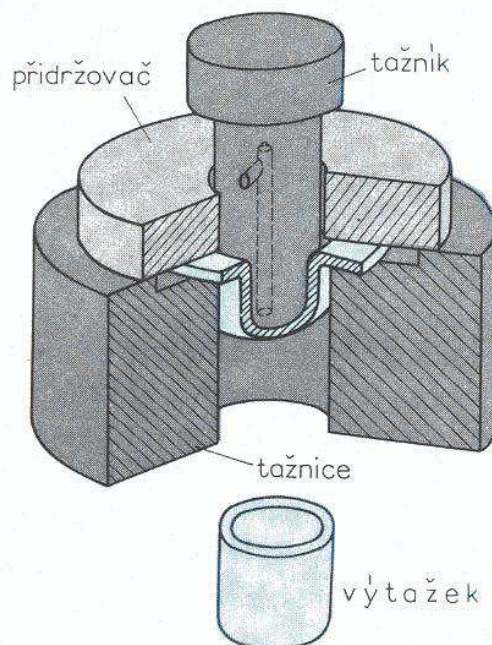


Obr. 9 Schéma procesu hlubokého tažení [17]

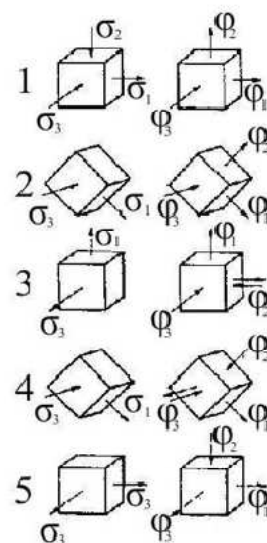
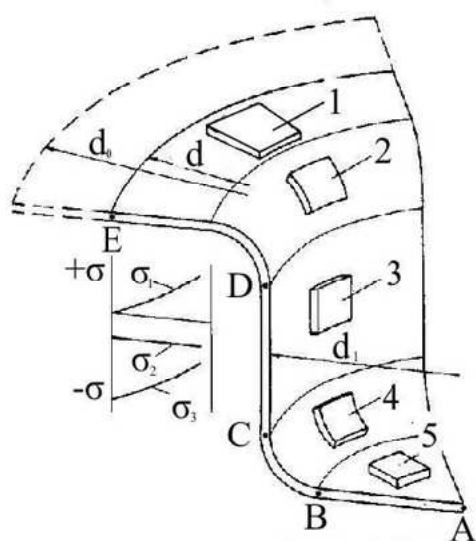
Z výše uvedených metod tváření, při uvážení výrobní série 15000 ks/rok, tvaru součásti a pořizovacích nákladů na strojní zařízení, lze pro zadanou součást určit jako nejvýhodnější konvenční hluboké tažení. Teoretická část práce bude zaměřena na metodu hlubokého tažení a v praktické části, bude rozebrána přímo daná součást.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [1], [19], [20], [21], [22]. [50]

Tažení je v oboru strojírenské technologie myšleno jako trvalé přetvoření rovinného polotovaru na duté nerozvinutelné těleso za pomoci nástroje – tažidla, které je složeno z hlavních částí tažníku, tažnice a přidržovače (popřípadě vyhazovače), viz obr. 10. Jako výchozí polotovar pro tuto technologii se považuje rovinný přístřih plechu, jehož tvar a rozměry se liší dle výsledného výtažku. Metodou tažení lze získat malé součástky o průměrech 10 mm s tloušťkou stěny 0,5 mm až po velké karosářské díly. Důležitý je výsledný tvar součásti, neboť jeho složitost určuje výsledný počet operací bez defektů součásti. Během tažení vzniká v každém místě výtažku tah, tlak nebo kombinace obou předchozích současně. Schéma napjatosti je ukázáno na obrázku 11. V bodě A se materiál skoro vůbec nenatahuje, přičemž přibližováním k části B se zvětšuje dvojosá napjatost. V prostoru mezi body B a C působí dvojosá, nebo trojosá napjatost. Válcová stěna výtažku od bodu C k bodu D je natahována pouze v jednom směru. Na vrchní válcové části v místě tažné hrany D dochází k ohybu tangenciálním a radiálním tlakem až k přírubě. Na materiál příruby pod přidržovačem působí prostorová napjatost. V radiálním směru působí tahová napjatost, v tangenciálním a axiálním směru tlaková. Nejrizikovější oblast je v místě mezi body B a C, kde působí silné tahové napětí, které zapříčiní zeslabování stěny vlivem odlišných mechanických vlastností materiálu v různých směrech. To může mít za následek vznik trhlin až po utržení dna výtažku.

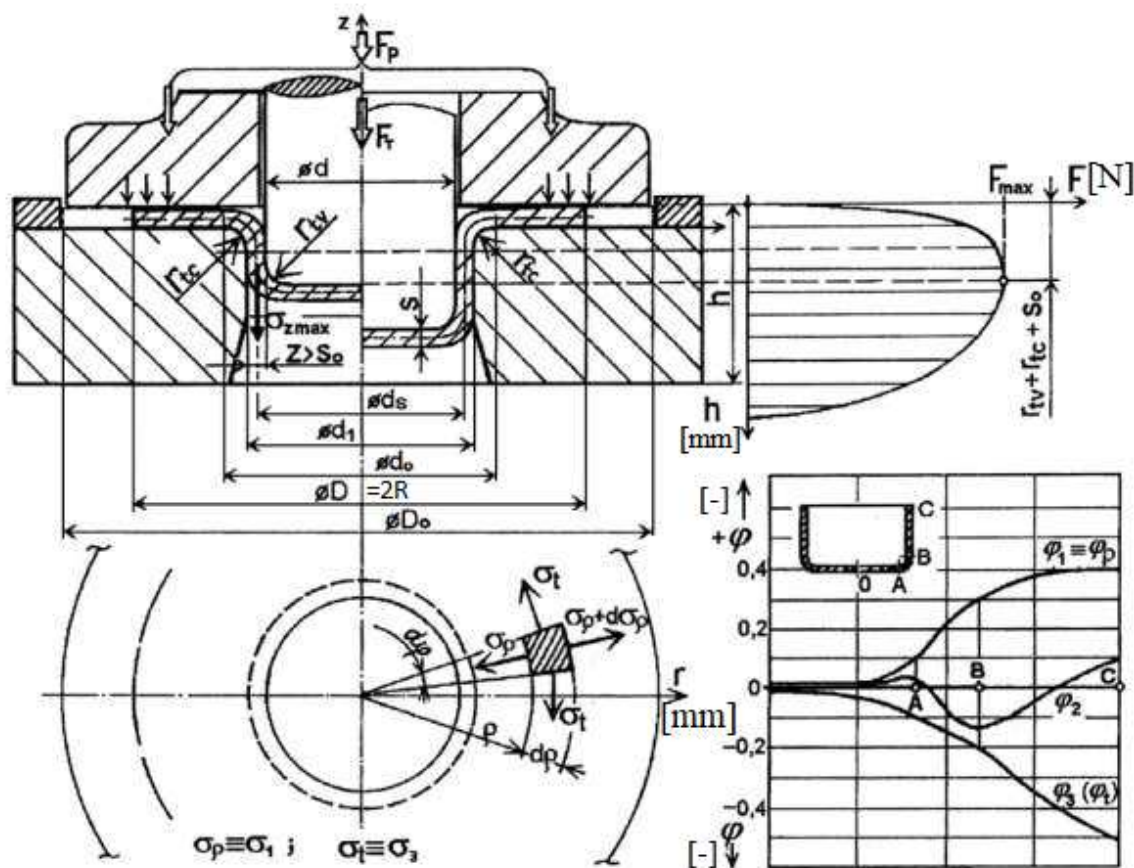


Obr. 10 Schéma konvenčního tažení [19]



Obr. 11 Schéma napjatosti při tažení [19]

V oblasti příruby, kde dochází ke zmenšování průměru výtažku, se materiál sbíhá k tažné hraně viz obr. 12. Tento jev způsobí nahromadění materiálu v tečném směru, což má za následek zvlnění příruby (ztráta stability). Zvlnění v přírubě se zmenšuje použitím přidržovače, který přitlačuje polotovar k tažnici.



Obr. 12 První krok tažení s použitím přidržovače [20]

V běžné praxi se tloušťka výtažku považuje za konstantní, což zákon stálosti objemu mění na zákon stálosti ploch. Velikost a průběhy hlavních přetvoření jsou vázány zákonem stálosti objemu:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad (2.1)$$

kde:

$$\varphi_1 = \ln \frac{D}{2\rho} = \frac{R}{\rho}; \quad \varphi_2 = \ln \frac{s_0}{s}; \quad \varphi_3 = -\ln \frac{D_0}{D} \quad (2.2)$$

$$\varphi_{1\max} = \ln \frac{D_0}{d_1}; \quad \varphi_{3\max} = -\ln \frac{D_0}{d_1} \quad (2.3)$$

kde: $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots$ hlavní logaritmická přetvoření [-]

$\varphi_{1\max}, \varphi_{3\max} \dots$ maximální logaritmická přetvoření [-]

$D_0 \dots$ průměr polotovaru [mm]

$D \dots$ zmenšující se průměr přístřihu během tažení [mm]

$d_1 \dots$ vnější průměr výtažku [mm]

$R \dots$ poloměr polotovaru [mm]

$\rho \dots$ obecný poloměr výtažku [mm]

$s_0 \dots$ výchozí tloušťka plechu [mm]

$s \dots$ výsledná tloušťka výtažku [mm]

Tažná síla se zvětšuje a maxima dosáhne, právě když je největší opásání tažné hrany ($\alpha = \frac{\pi}{4}$) a když se tažník posune na hloubku, která se dá vyjádřit jako:

$$h_m = r_{tv} + r_{tc} + s_0 \quad (2.4)$$

kde: r_{tv} ...zaoblení tažníku [mm]

r_{tc} ...zaoblení tažnice [mm]

Během této doby dochází k největšímu tření, prostorovému ohybu a také zpevnění materiálu.

Velikost tažné síly také ovlivňuje radiální tahové napětí σ_1 , které je přímo závislé na poloměru ρ , tj. na přetvoření ϕ_1 . Dále má vliv složka odporu tření mezi přidržovačem σ_f , složka odporu proti ohybu na hraně tažnice a v neposlední řadě vliv tření při posunu po tažné hraně tažnice ($e^{f\alpha}$). Z toho vyplývá deformační odpor při tažení v první operaci podle obr. 12, který bude:

$$\sigma_d = \sigma_z = \frac{F_T}{S_T} = (\sigma_1 + \sigma_f + 2\sigma_0) \cdot e^{f \cdot \alpha} \quad (2.5)$$

kde: σ_d ... deformační odpor [MPa]

σ_0 ... ohybové napětí na tažné hraně [MPa]

σ_1 ... radiální tahové napětí [MPa]

σ_f ... napětí způsobené třením mezi přidržovačem [MPa]

α ... úhel opásání tažné hrany tažnice [rad]

f ... součinitel tření [-]

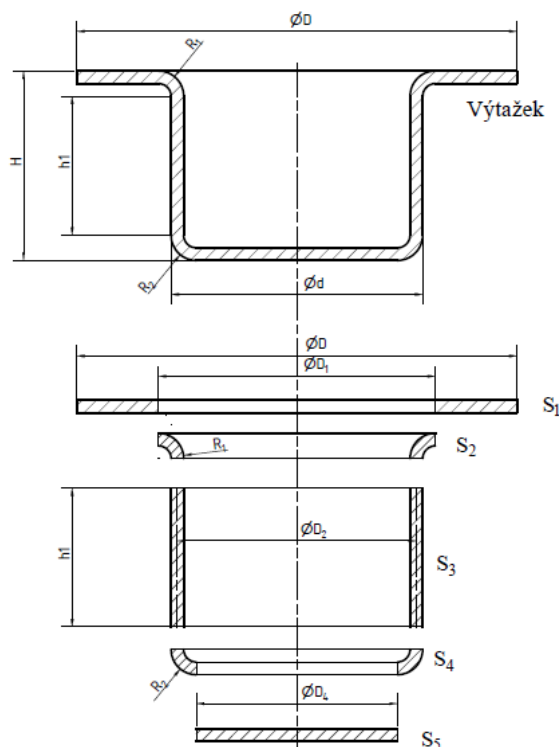
$e^{f\alpha}$... součinitel opásání na tažné hraně [-]

Ten samý vztah upravil Šofman a řada dalších autorů na tvar:

$$\sigma_d = \sigma_z = (\sigma_1 + \sigma_f) \cdot e^{f \cdot \alpha} + 2\sigma_0 \quad (2.6)$$

2.1 Velikost přístřihu [21], [23], [24]

Základním materiálem pro přístřih je tabule plechu. Určení tvaru přístřihu je velice důležité, protože udává kvalitu výtažku. Výtažky mají většinou nerovné a různě zdeformované okraje. Tento jev je způsobený nerovnoměrností struktury i nerovnoměrnou tloušťkou taženého materiálu. Z tohoto důvodu se výtažek povětšinou táhne hlubší, aby po následném odstřižení okrajové části a jejím zarovnáním byly dosaženy požadované rozměry. Většinou se pro první tah hodnota velikosti přístřihu zvětšuje o 3% a na další tah o 1%. Je-li k dispozici vzorek výtažku, velikost potřebného přístřihu se může určit z hmotnosti. Hmotnost výtažku musí být shodná s hmotností přístřihu a zvětšená o již uvedená procenta. U výtažků tvaru kuželu musí mít přístřih správný tvar a velikost, protože se při tažení materiál silně zeslabuje. Toto místní zeslabení lze jen obtížně určit, a proto výpočet postupuje stejně jako



Obr. 13 Rozdělený výtažek na úseky [23]

u běžných výtažků. Velikost přístřihu lze spočítat několika různými způsoby:

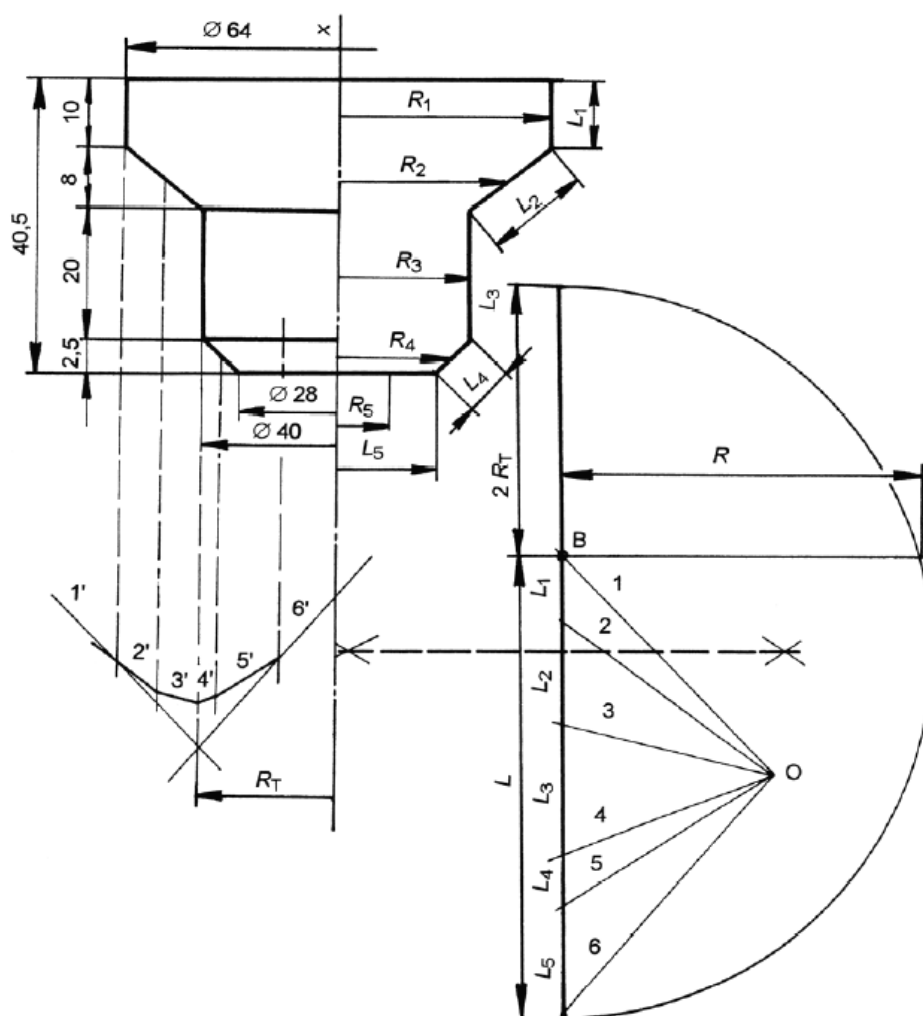
- Zákonem zachování objemu – jedna z nejpoužívanějších metod pro zjištění průměru přístřihu. Vychází se z rovnosti objemu plechu před tažením a hotového výtažku. Za předpokladu tažení bez ztenčení, konstantní tloušťky plechu a zanedbání místního zeslabení lze přejít na zákon zachování ploch. Princip spočívá v rozdělení výtažku na jednotlivé základní prvky (obr. 13), u kterých se následně spočítá velikost ploch. Nakonec se všechny plochy sečtou. Tato metoda je uplatněna jak pro jednoduché, tak i pro složité výtažky, u kterých je průběh výpočtu stejný. Když se součet všech ploch vypočte jako S_c , tak průměr přístřihu je:

$$D_p = \sqrt{\frac{4S_c}{\pi}} = 1,13\sqrt{S_c} \quad (2.7)$$

kde: D_p ...průměr přístřihu [mm]

S_c ... součet všech ploch [mm²]

- Nomogramem – velikost přístřihu pro kruhový polotovar je také možné určit z nomogramu viz příloha 1. Pro určení je potřeba znát průměr a výšku výsledného produktu. Tento typ metody se používá převážně při kontrole po numerickém výpočtu, protože je poměrně nepřesný. Nomogram také není vhodný pro složité součásti.
- Guldinovými větami – používají se tehdy, když výtažek složitěho tvaru nelze rozložit na jednoduché rotační tvary. Guldinovy věty říkají, že plocha vytvořená otáčením



Obr. 14 Příklad pro grafickou metodu [21]

rovinné křivky o délce l kolem osy rotace se rovná násobku křivky a dráhy těžiště křivky při rotaci.

- CAD systémy – v dnešní době jedna z nejpoužívanějších metod pro určení velikosti ploch, těžišť, z čehož lze následně spočítat průměr přístřihu. Výhoda CAD systému oproti grafickým metodám a nomogramům je přesnost výpočtu.

2.1 Počet tažných operací [2], [20], [23], [24]

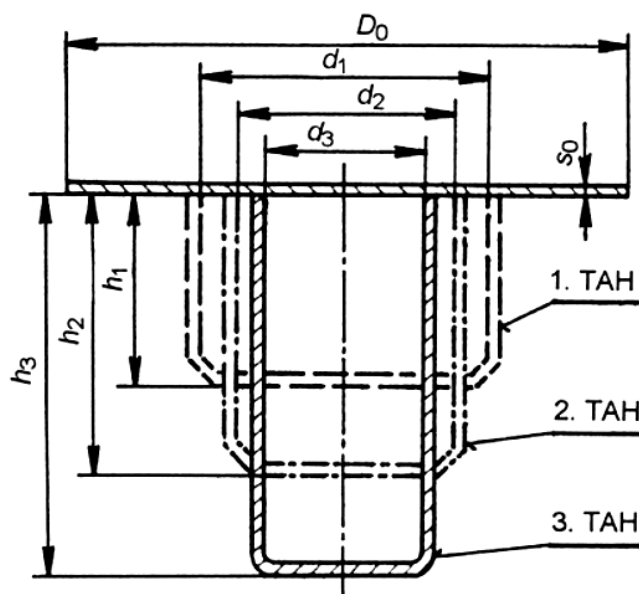
Při navrhování tažení je snaha o co nejmenší počet tažných operací, proto je potřeba mít deformaci v každé operaci tak velkou, aby se plně využily mechanické vlastnosti taženého materiálu až do přípustné meze. Deformace v jednotlivých krocích nesmí překročit přípustnou mez, protože by nenávratně došlo k poškození výtažku. Návrh odstupňování tažných operací je vidět na obr. 15. Z vypočteného přístřihu lze v každé tažné operaci získat výtažek o určitém minimálním průměru s odpovídající výškou.

Většina mělkých výtažků je povětšinou tažena v jedné operaci.

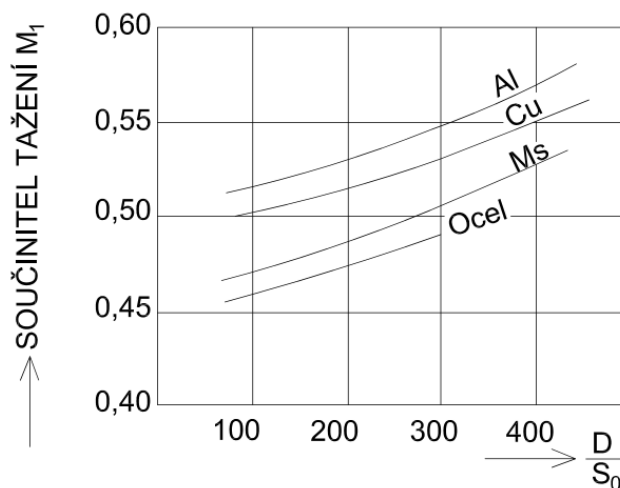
K určení co nejmenšího počtu tahů jsou zavedeny tzv. mezní součinitelé odstupňování tahu M dle ČSN 22 73 01. Tyto součinitele závisí především na mnoha faktorech jako jsou:

- mechanické vlastnosti,
- rozměry výtažku,
- členitost povrchu,
- technologický postup,
- velikost zaoblení v rozích a dně výtažku,
- poměru D/s_0 ,
- konstrukce a provedení tažidla,
- mazivo a způsob upnutí nástroje na lisu.

Příklad vyobrazení závislosti součinitele tažení M na poměru D/s_0 je vidět na obr. 16. Velký vliv na počet tažných operací má velikost zaoblení v rozích. Přímo závislostí určuje možnou dosažitelnou výšku v jednom tahu. Diagram dle Romanovského ukazuje vliv a přibližný počet tažných operací vyjádřených v závislosti na



Obr. 15 Příklad odstupňování operací [21]

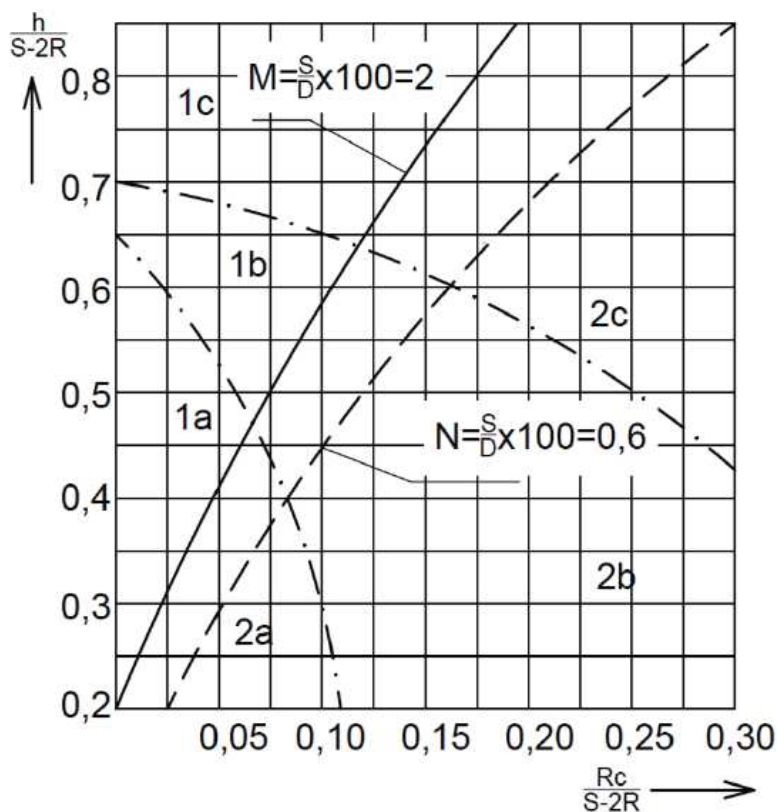


Obr. 16 Závislost M na D/s_0 [20]

poloměru zaoblení rohů a výšky. Romanovského diagram je zobrazen na obr. 17. Jak je v diagramu vidět tak křivka 'M' znázorňuje hranici pro oblast 1, která určuje maximální výšku výtažku v jednom tahu. Křivka 'N' je začátkem oblasti 2 a požaduje víceoperační tažení. Jestliže je nutné polotovar zhotovit během více tažných operací, pak se volí redukce rohového zaoblení kolem 60 až 65%. Tato redukce lze vyjádřit jako:

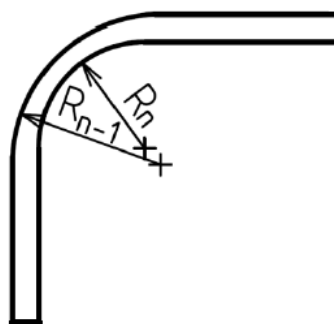
$$R_n = 0,4R_{n-1}, R_{n-1} = 2,5R_n \quad (2.8)$$

kde: R_n ...poloměr zaoblení rohu v n-té tažné operaci [mm]



Obr. 17 Romanovského diagram [2]

Posunutí středů rohových poloměrů směrem ven je zobrazeno na obr. 18. Tento jev rovnoměrně rozkládá namáhání materiálu a je také dosaženo jednotné tloušťky materiálu.



Obr. 18 Posunutí středů rohů v plásti [23]

Během prvních tahů je někdy požadováno více zaoblit stěny výtažku. V dalších tazích je toto zaoblení redukováno, což zapříčiní nejenom ohýbání ale i tažení kovu. Díky tomuto

se zlepšují podmínky při tažení materiálu.

Jak již bylo zmíněno s počtem tahů souvisí součinitel tažení, který se dle normy ČSN 22 73 01 volí v rozmezí:

$$M_n = \frac{(70 \div 80) + 0,01 \cdot d_{n-1}}{100} \approx 0,75 \div 0,85 \quad (2.9)$$

kde: M_n ...n-tý součinitel tažení [-]

Celkový součinitel tažení slouží k prvotnímu určení jednoho nebo víceoperačního tažení. Je-li hodnota M_c menší než na obr. 16, tak je nutné použít více operací. Spočítá se jako součin jednotlivých součinitelů pro každou operaci:

$$M_c = M_1 \cdot M_2 \dots M_n = \frac{\phi d_n}{\phi D_0} \quad (2.10)$$

kde: M_c ...celkový součinitel tažení [-]

M_1 ... součinitel tažení pro první operaci [-]

$M_2...$ součinitel tažení pro druhou operaci [-]

$d_n...$ n tý průměr možného výtažku [mm]

Počet nutných tahů je dán počtem součinitelů M_i v součinu. Možný výtažek během tažené operace se spočítá jako:

$$d_n = M_n \cdot d_{n-1} = M_s^{n-1} \cdot (M_1 \cdot D_0) \quad (2.11)$$

kde: $M_s...$ střední součinitel tažení pro 2 a další operaci, většinou $M_s \approx 0,75$

Po úpravě vztahu (2.11) se vypočte potřebný počet tažných operací:

$$n = 1 + \frac{\ln(d_n) - \ln(M_1 \cdot D_0)}{\ln M_s} \quad (2.12)$$

kde: $n...$ počet nutných operací [-]

Poměrné přetvoření po 1 tahu tažení je dáno jako:

$$\varepsilon = \frac{D - d_1}{D} = 1 - M_1 \quad (2.13)$$

kde: $\varepsilon...$ poměrné přetvoření [-]

Hodnota stupně tažení je udávána jako převrácená hodnota součinitele tažení M . Stupeň tažení vyhodnocuje maximální deformaci pro jeden tah a počet tažných operací. Hodnota pro první tah se vypočte jako:

$$K = \frac{1}{M} = \frac{D}{d_1} \quad (2.14)$$

kde: $K...$ stupeň tažení [-]

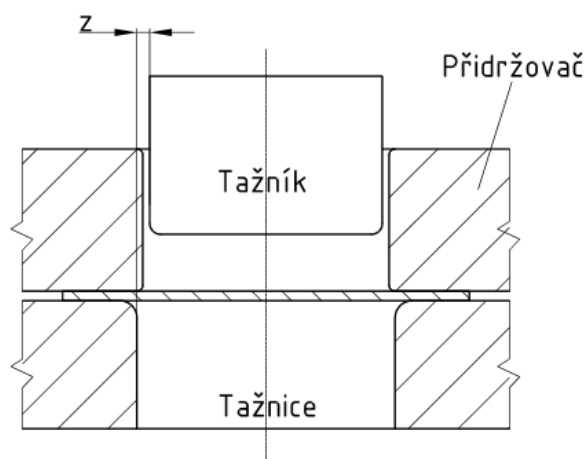
Během prvních tahů je minimální hodnota součinitele tažení $m_1 = 0,38$ až $0,48$ pro hlubokotažné plechy.

2.2 Tažná vůle [2], [21], [23], [25]

Tažná vůle je definována jako mezera mezi tažníkem a tažnicí. Příklad znázornění je

na obr. 18. Během tažení tuto mezeru vyplňuje polotovár o dané tloušťce. Je důležité zvolit optimální velikost tažné mezery, protože kdyby byla malá, tak dochází ke ztenčování stěny výtažku, což vede k narůstání tažné síly a následně může dojít k utržení dna výtažku. Naopak příliš velká tažná mezera způsobí zvlnění příruby. Velikost mezery se volí větší než tloušťka polotovaru. Zvětšení musí kompenzovat nárůst materiálu při pýchování v tažné mezeře. Změna tloušťky materiálu během tažení je zapříčiněna několika důvody a to:

- druhem a stavem taženého materiálu,
- tažným poloměrem,
- silou vyvinutou přidržovačem,



Obr. 18 Tažná vůle [25]

- rychlostí tažení,
- mazáním atd.

Tažná vůle musí být tak velká, aby vzniklo přijatelné tření v závislosti na mazání. Zesílení plechu dosahuje největší možné míry v zaoblených částech výtažku. Podle normy ČSN 22 73 01 se po první tah volí vůle:

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0 \quad (2.15)$$

kde: z_1 ... tažná mezera pro první tah [mm]

Při druhém a dalších tazích se tažná mezera postupně zmenšuje až k minimální hodnotě, přičemž pro poslední tah se mezera volí:

$$z_n = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0 \quad (2.16)$$

kde: z_n ... tažná mezera v posledním tahu [mm]

V případě potřeby přesných rozměrů výtažku je nutné součást kalibrovat. Během kalibrace dochází na zmenšení tažné mezery na nejmenší únosnou mez. V tomto případě se tažná mezera vypočte jako:

$$z_k = (1,0 \div 1,1) \cdot s_0 \quad (2.17)$$

kde: z_k ... tažná mezera při kalibraci výtažku [mm]

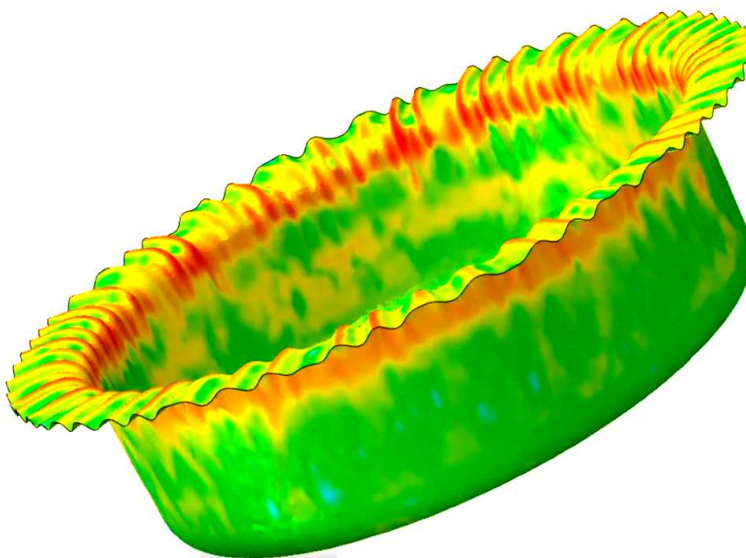
Dle literatury lze tažnou vůli také zvolit v závislosti na tloušťce taženého materiálu viz tabulka 2.

Tab. 2 Tažná vůle v závislosti na tloušťce materiálu [23].

Tloušťka plechu s_0 [mm]	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00	3,00
Tažná vůle z [mm]	0,45	0,65	0,90	1,20	1,40	1,75	2,40	3,50

2.3 Použití přidržovače [20], [23], [24], [26]

Během tažení hlubokých výtažků dochází ke zvlnění materiálu v přírubě součásti. Vlny vznikají v důsledku vzniku plastické deformace. Při působícím napětí vznikají v přírubě místa s rozdílnou tloušťkou materiálu. Tato nerovnoměrnost zapříčiní různá zpevnění materiálu. Zvlnění je vidět na obr. 19, kde je použitý počítačový software. U součástí s malou výškou a poměrně vysokou tloušťkou materiálu většinou není potřeba použít přidržovač. Tažidla bez přidržovače jsou poměrně jednoduchá a levná, ale redukce při tažení musí být malá, jinak dojde ke zvlnění.



Obr. 19 Zvlnění příruby použitím FEM [26]

Většinou se může bez přidržovače táhnout při redukcích nižších než 10%. Vše závisí na tloušťce materiálu, tažné vůli a zaoblení tažné hrany. Maximální redukce, která se během tažení bez přidržovače může použít, se určí dle empirického vzorce jako:

$$R_{\max} = 50 \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D}} + 100 \cdot (1 - c) \quad (2.18)$$

kde: R_{\max} ... maximální redukce při tažení bez přidržovače [%]
 c ... konstanta závislá na druhu taženého materiálu [-]

Konstanta c se pro běžné oceli volí jako 0,95. Materiál použitý pro přidržovače je většinou nástrojová ocel. Podle normy ČSN 22 73 01 se přidržovač použije v závislosti na koeficientu:

$$u = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D}} \right) \quad (2.19)$$

kde: Z ... materiálová konstanta. Pro běžné oceli se volí v rozmezí 1,85÷1,95 [-]

Jestliže koeficient 'u' splňuje podmínku:

$$u \geq \frac{100 \cdot d}{D} \quad (2.20)$$

Jedná se o případ tažení s použitím přidržovače. Pokud 'u' splňuje podmínku:

$$u < \frac{100 \cdot d}{D} \quad (2.21)$$

Není použití přidržovače během tažení zapotřebí.

Šofman doporučuje použít přidržovač během platné podmínky:

$$D - d \leq 18 \cdot s_0 \quad (2.22)$$

Během tažení je přístřih vtahován do tažné mezery. Přidržovací síla musí být dostatečně veliká, aby zabránila zvlnění okraje, ale zároveň musí dovolit vtahování plechu do tažnice působením tažníku. Velikost síly od přidržovače závisí na několika aspektech, jako jsou:

- druh taženého materiálu,
- tloušťka plechu,
- redukce při tažení.

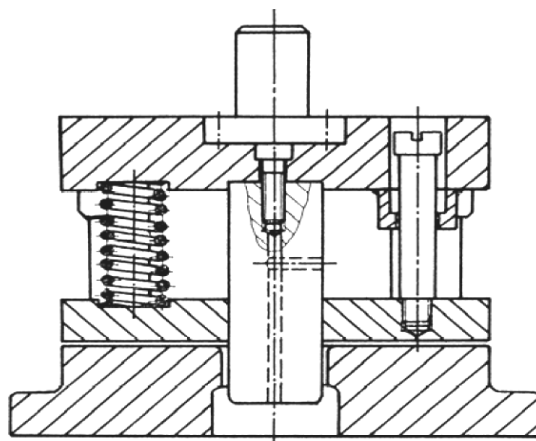
Síla od přidržovače se určí ze vztahu:

$$F_p = S \cdot p \quad (2.23)$$

kde: F_p ... síla od přidržovače [N]
 S ... styková plocha mezi přidržovačem a přístřihem [mm²]
 p ... tlak přidržovače [MPa]

Během tažení dochází ke zmenšování vnějšího průměru přístřihu až na průměr výtažku, díky čemuž se snižuje styková plocha mezi přidržovačem a přístřihem. Kdyby se neměl měnit tlak od přidržovače, tak by se měla teoreticky snižovat přidržovací síla. Při použití přidržovače jsou nejvýhodnější speciální tažné lisy. Tyto dvojčinné lisy mají dva berany (vnější a vnitřní). Vnější beran drží plech v době, kdy se materiál tvaruje silou od vnitřního beranu. Používají se dvě různé konstrukce, kdy v první konstrukci ovládá berany vačková hřídel, u druhé pak pákový mechanismus, který umožňuje hluboké a velké výlisky. Malé a středně velké výlisky lze táhnout i jednočinnými lisami a to s přidržovačem i bez přidržovače. U jednočinných lis jsou přidržovače jednoduchého typu jako pružinové, mechanické nebo složitější pneumatické a hydraulické. U pružinových přidržovačů je nevýhodou zvyšování přidržovací síly během tažení kvůli zvětšování předpětí pružiny. Pružinový přidržovač je vidět na obr. 20. Ze vztahu

(2.15) vyplývá, že se zvyšuje přidržovací tlak. Materiál je ke konci tažení svírán velikou silou, která ztěžuje vtahování výtažku mezi tažník a tažnici a dále se zeslabují stěny a může dojít až k utržení dna výtažku. Jestliže jsou použity složitější mechanismy ať už pneumatický nebo hydraulický, tak lze během tažení přidržovací tlak plynule regulovat. Doporučené hodnoty tlaku přidržovače jsou znázorněny v tab. 3.



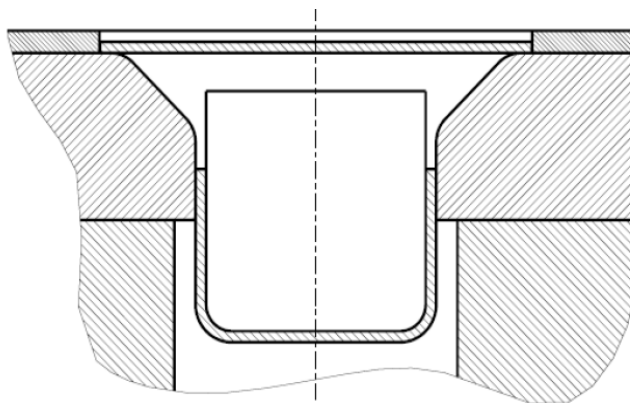
Obr. 20 Pružinový přidržovač [21]

Tab. 3 Doporučené velikosti tlaku od přidržovače [23].

Tloušťka taženého plechu (mm)	Tlak přidržovače [MPa]			
	Tažený materiál			
	ocelový plech		mosaz tombak	hliník
	tvrdý	hlubokotažný		
0,2	3,0	2,1÷2,5	2,0	1,5
0,4	2,9	2,0÷2,4	1,9	1,5
0,6	2,8	2,0÷2,4	1,9	1,45
0,8	2,8	1,9÷2,3	1,8	1,45
1,0	2,7	1,8÷2,3	1,8	1,4
1,5	2,7	1,8÷2,2	1,7	1,35
2,0	2,6	1,8÷2,1	1,7	1,3
2,5	2,5	1,8÷2,1	1,6	1,25
3,0	2,5	1,9÷2,1	1,6	1,2
3,5	2,4	1,9÷2,0	1,5	1,2
4,0	2,3	1,9	1,5	1,15
4,5	2,2	1,8	1,4	1,15
5	2,2	1,8	1,4	1,1
6	2,1	1,7	1,3	1,1
7	2,1	1,7	1,3	1,05
8	2,0	1,6	1,2	1,0

2.4 Tažný poloměr [2], [23], [27], [28], [29]

Tažný poloměr je zaoblení tažné hrany tažnice, známý je také jako tažné zaoblení. Tažný poloměr velmi ovlivňuje tažnou operaci, protože při malém poloměru se materiál trhá a při velkém se zvlní příruba. Většinou se volí v rozsahu 4 až 10-ti násobku tloušťky plechu. Při tažení, kde jsou malé redukce nebo se vyžaduje nezvlněný okraj lze použít i menší poloměr. Naopak při větších



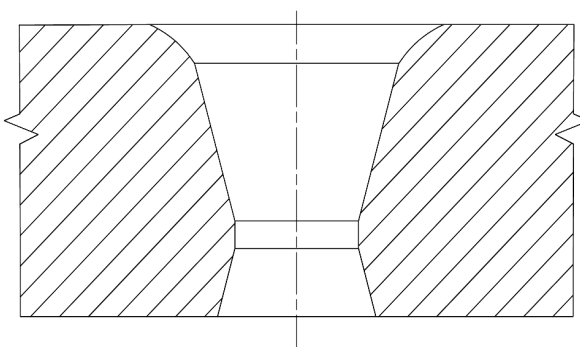
Obr. 21 Zkosení tažné hrany [23]

redukcích se použije větší poloměr s výhodným menším namáháním kovu během tažení. Při tomto procesu nevádí zvlnění okraje, protože se počítá s ostřížením. Poloměr také z velké části závisí na zvoleném druhu taženého materiálu. Zaoblení tažné hrany se někdy dodatečně konstrukčně upravuje pro požadovaný tvar a jakost výtažku.

Velikost tažného poloměru lze získat z empirického vzorce:

$$r_{tc} = 0,8\sqrt{(D - d) \cdot s_0} \quad (2.24)$$

Tímto vzorcem lze dobře vypočítat tažný poloměr pro ocelové a mosazné plechy. Když je materiálem lehká slitina, tak se zaoblení zvětší o 10 %. V některých případech je výhodné u prvního tahu tažnou hranu zkosit. Zkosení hrany tažnice zobrazuje obr. 21. Touto úpravou je dosaženo větších deformací a snížení hodnoty součinitele tažení. Další možností úpravy hrany tažnice je Tractrix křivka, která má tvar evolventy řetězovky. Tractrix křivka je znázorněna na obr. 22. Tato úprava se provádí při tažení bez použití přidržovače, kdy výsledkem je výrazné snížení zvlnění okraje plechu. Tažný poloměr je v prvním a předposledním tahu stejný jako poloměr zaoblení tažníku.

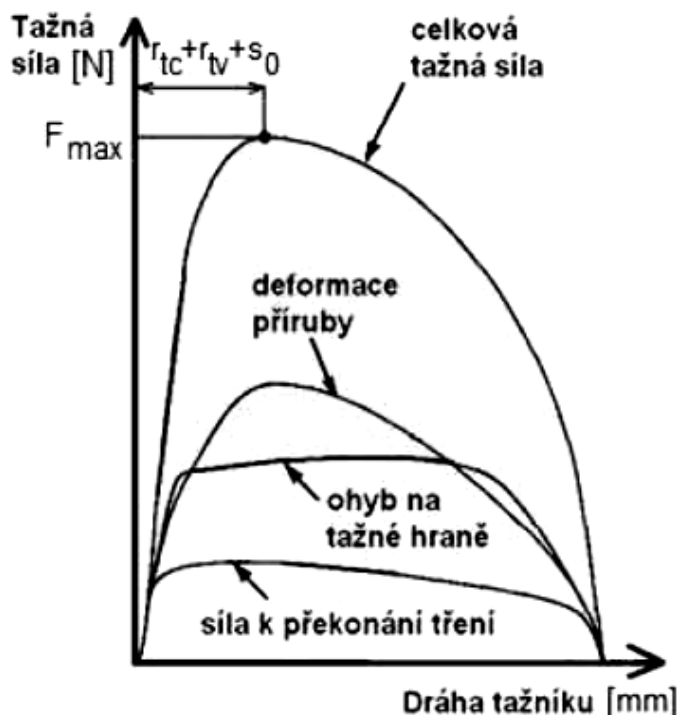


Obr. 22 Tractrix křivka [28]

2.5 Tažná síla a práce [20], [21], [23], [30], [31]

Před procesem tažení je důležité znát celkovou sílu, která je potřebná ke zhotovení výtažku. Výpočet celkové síly je dán součtem všech dílčích sil (přidržovací, tažná, vyhazovací). Tažná síla je vyvozena tažníkem a třením mezi ním a tažnicí.

Při výpočtu tažné síly se vychází ze součtu napětí, které vznikají v přenosovém výtažku podél tažné hrany. Velikost těchto napětí ovlivňuje radiální tahové a tečné napětí, které se mění v závislosti na změně průměru přístřihu a přirozeném přetvárném odporu. Během tažení dochází k plastické deformaci v rovině příruby, která je dána skutečnou deformací. Tření vzniklé mezi přidržovačem a přístřihem vyjadřuje odpor proti ohybu na tažném poloměru. Při tažení válcové součásti s přírubou dosahuje tažná síla největší hodnoty v místě součtu hodnot zaoblení hrany tažníku, zaoblení hrany tažnice a tloušťky plechu. Toto místo je znázorněno na obr. 23.



Obr. 23 Průběh tažné síly [20]

Pro výpočet síly na utržení dna se používá empirický vzorec. Velikost tažné síly musí být menší, než je tato kritická síla, která se určí jako:

$$F_{krit} = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m \quad (2.25)$$

kde: F_{krit} ... síla při níž se utrhne dno [N]
 R_m ... mez pevnosti v tahu [MPa]

Tažná síla je založena na součtu napětí vznikajících v přenosovém průřezu. Podle tohoto posudku se pro první tah spočítá podle Sachse jako:

$$F_{t1} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot \sigma_{zmax} \quad (2.26)$$

kde: F_t ... tažná síla [N]
 d_s ... střední průměr výtažku [mm]
 σ_{zmax} ... největší membránové napětí při $\rho=d_s/2$ [MPa]

$$\sigma_z = \sigma_{ps} \cdot \left(\beta \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{F_p \cdot f}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot s_0 \cdot R} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc} + s_0} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot f) \quad (2.27)$$

kde: σ_{ps} ... střední hodnota přirozeného přetvárného odporu [MPa]
 f ... koeficient tření [-]

Tažnou sílu je možné spočítat také podle zjednodušených vztahů, které využívají experimentálně určené opravné součinitele, které pro první tah vyčteme z tabulky 4, a pro druhé a další tahy z tabulky 5. Síla dle těchto ukazatelů se spočítá jako:

$$F_{ti} = \pi \cdot d_i \cdot s_0 \cdot k_i \cdot R_m \quad (2.28)$$

kde: d_i ... střední průměr výtažku pro první až i-tý tah [mm]
 k_i ... opravný součinitel pro první až i-tý tah, vyjadřuje vliv součinitele tažení [-]

Tab. 4 Hodnoty opravného součinitele pro první tah [21].

M_1 [-]	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,75	0,80
k_1 [-]	1,14	1,08	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,40

Tab.5 Hodnoty opravného součinitele pro druhý až i-tý tah[21].

M_i [-]	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80	0,85	0,90	0,95
k_i [-]	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60	0,50

Celková síla se skládá z jednotlivých složek:

$$F_{tc} = F_t + F_p + F_v \quad (2.29)$$

kde: F_{tc} ... celková síla [N]
 F_v ... síla vyhazovací [N]

Vyhazovací síla je díky své velikosti ve většině případů zanedbána. Následně musí tažná síla pro každý krok splňovat podmínku:

$$F_t < F_{krit} \quad (2.30)$$

Když nebude tato podmínka splněna, tak dojde k utržení dna součásti a tím se výrobek nenávratně zničí. Pro správné zvolení lisu je důležité znát tažnou sílu a její práci. Jmenovitá

síla výrobního stroje musí být větší než celková tažná síla, jinak by došlo k poškození výtažku. Tažná práce se spočítá jako:

$$A_t = \frac{(C \cdot F_{tc} \cdot h)}{1000} \text{ [kJ]} \quad (2.31)$$

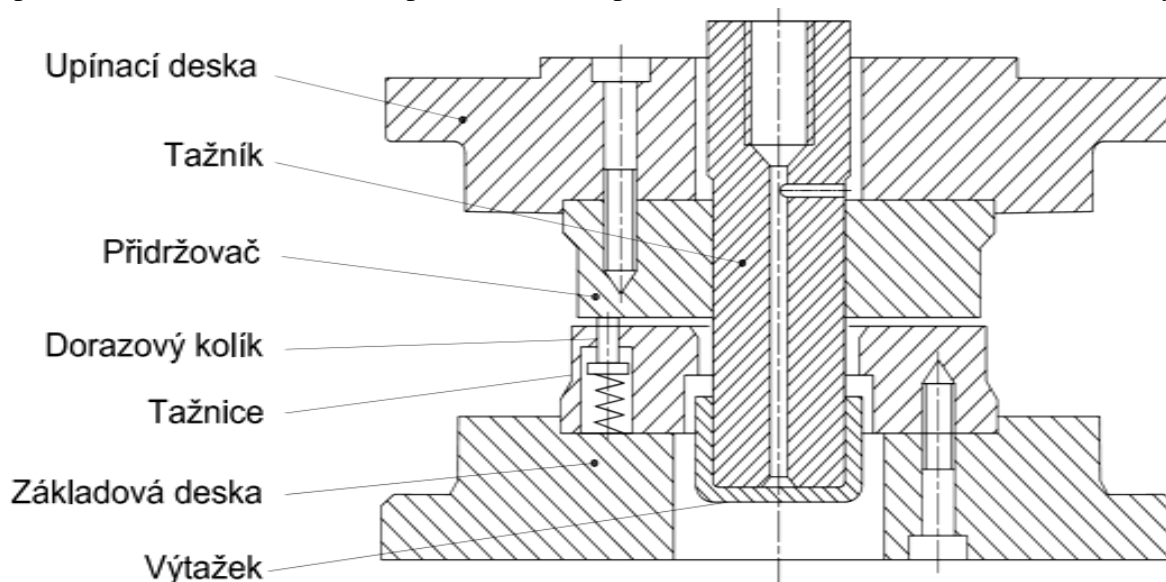
kde: A_t ... tažná práce [kJ]

C ... koeficient tažné práce (0,6÷0,8) [-]

h ... výška výtažku [mm]

2.6 Konstrukce nástroje [20], [22], [21], [23], [24], [31]

Navržení nástroje je jedna z nejdůležitějších operací během tažení. Požadavky na přesnost výrobků se zvyšují a je nutné přizpůsobit tomu nástroj. Nosnými prvky při navrhování nástroje je geometrie, přesnost, kvalita a materiál vyráběné součásti. Většinu času jsou plochy nástroje namáhané na otěr, proto je nezbytné tyto plochy povrchově upravit. Tažný nástroj je složen ze dvou hlavních částí, jimiž jsou horní a spodní díl. Spodní díl tvoří základová deska, do které se většinou upíná tažnice. Základová deska slouží k upnutí do stolu stroje a jsou v ní zapuštěny vodící sloupky. Vodicí sloupky slouží k přesnému složení horní části se spodním dílem. Naopak tažník je součástí horního dílu. Součástí horního dílu je také přidržovač a upínací deska, která slouží k upnutí tažníku s přidržovačem k beranu lisu. Horní část bývá

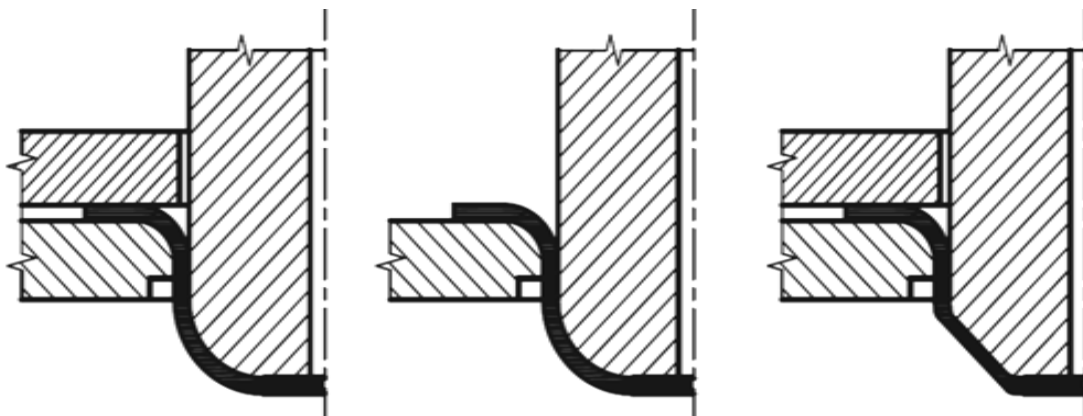


Obr. 24 Tažidlo pro dvojčinný lis [23]

většinou pohyblivá vůči spodního pevně upnutého dílce. Schéma jednoduchého tažidla je zobrazeno na obr.24.

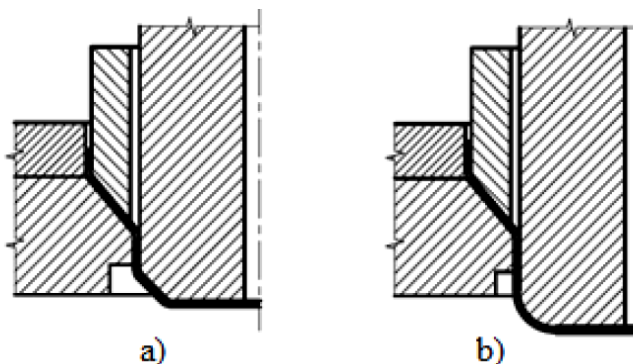
Konstrukce tažidla lze rozdělit podle tahu, ke kterému jsou určeny. Dělí se na:

- tažidla pro první tahy s nebo bez přidržovače- při prvních tazích se používá tažidlo s rádiusovým zakončením při dokončování operace, jinak může být i zkosený. Tato varianta se používá pro snížení napětí při tažení a k lepšímu osazení výtažku během dalšího tahu. Varianty tažidla pro první tahy jsou vyobrazeny na obr. 24. Přidržovač je pro první tahy většinou rovinného tvaru. Základem je určení počtu tahů, bude-li výtažek táhnut na jednu či více operací, kde u více tažných operací se během prvního tahu výtažek připraví na další tahy. Jestliže je polotovár vyroben z plechu stříháním, tak je výhodné spojit vystřížení s tažením během jedné operace použitím sdruženého nástroje. Nejjednodušším způsobem je použití dvojčinného lisu, kde je zaručená vysoká produktivita a jednoduchost výroby.



Obr. 25 Varianty tažidla pro první tahy [24]

- tažidla pro druhé až předposlední tahy- tažník má během těchto tahů zkosené obvodové hrany pod úhlem 35° až 45° . Tažnice sedí, na rozdíl od prvního tahu, v poměrně vyšší základové desce, aby bylo dosaženo požadované výšky výtažku. Přizpůsobený musí být také přidržovač, který je také delší a zkosený. Pro úspěšné tažení je nutné použít správný druh vyhazovače. Při těchto tazích je možné použít jednočinný lis, kde výtažek propadne tažnicí. Konstrukce tažidla pro druhé až předposlední tahy je vidět na obr. 26a.
- Tažidla pro poslední tahy - Konstrukce je podobná tažidlům pro druhé tahy, ale tažník není zkosen nýbrž zaoblen jak je vidět na obr. 26b. Tyto tahy určují konečný tvar výrobku, tudíž je dbáno na konstrukční přesnost nástroje. Tyto tahy mohou také sloužit ke kalibraci výtažku pro dosažení nejvyšší kvality a jakosti výrobku.

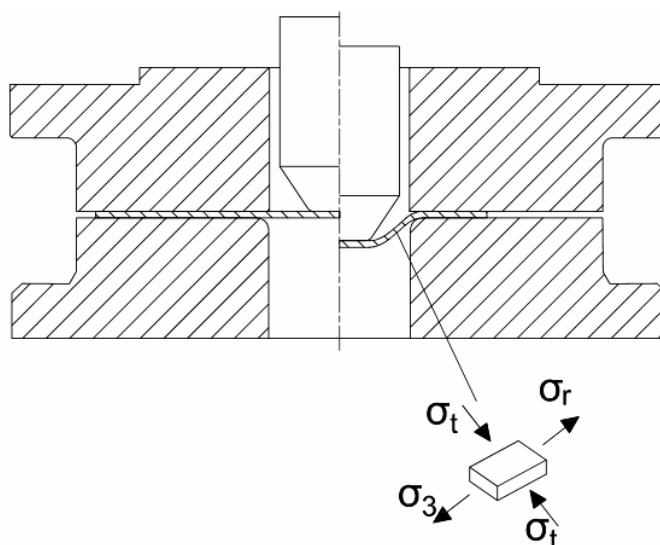


Obr. 26 Konstrukce tažidel pro více tahů [24]

Tažidla zhotovené dle teoretických výpočtů se většinou musí následně upravit podle zkušebních tahů, kde se ukážou nedostatky jako např. trhliny, špatný tvar a jakost povrchu apod.

Tažení výtažků tvaru komolého kužele je výrazně specifitější oproti tažení válcových výtažků. Je to způsobené silným zeslabováním materiálu. Toto zeslabení je obtížné určit,

a proto se postupuje obdobně jako u válcových výtažků. Tažení probíhá, tak, že se nejprve táhne válcovitý výtažek většího průměru, než je průměr základové části kužele, pak následuje odstupňování a následná

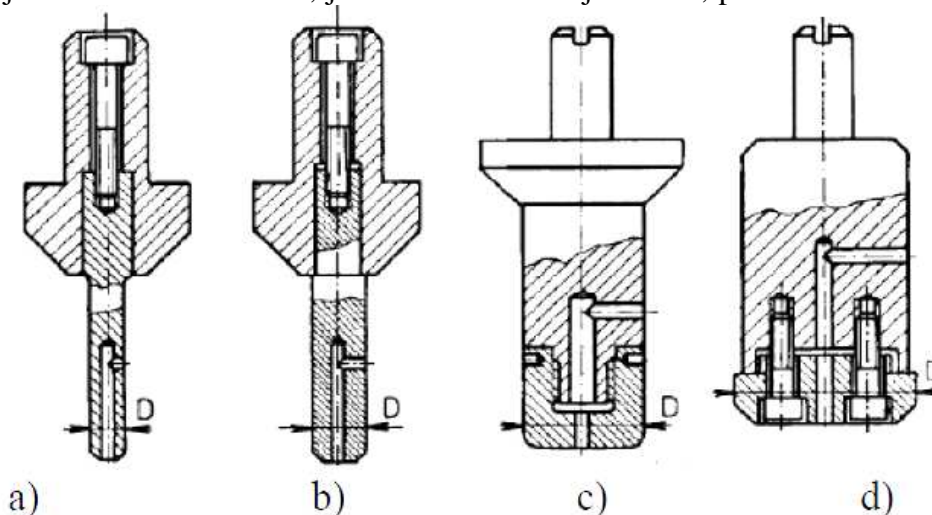


Obr. 27 Tažení komolého kužele [22]

kalibrace výtažku. Čím blíže se pohybuje odstupňovaný tvar cílovému výrobku, tím snazší je jeho následná kalibrace. K docílení kuželového tvaru napomáhají velké tažné poloměry nebo kuželovitý tvar tažné hrany tažnice. Názorné schéma tažení kužele je vidět na obr. 27. Z obrázku vyplývá, že v úvodní fázi tažení vzniká příliš velká mezera, která zapříčiní zvlnění a ztrátu stability materiálu. Tento jev je způsoben tangenciálním napětím σ_t .

2.6.1 Tažník [21], [24], [31]

Tažník je část tažného zařízení, jehož funkční části jsou čelo, poloměr zaoblení a válcová



Obr. 28 Konstrukce tažníků [31]

část. Vnější průměr tažníku tvoří současně vnitřní tvar výtažku. Tažníky pro menší výtažky jsou celistvé včetně stopky nebo k nim může být stopka přišroubována. Při tažení větších výlisků bývá tažník dělený. Tažník je namáhán na vzpěr a dle tohoto poznatku se i dimenzuje.

Pro zvýšení tření je tažná hrana vyvločkována. Tato koncepce snižuje koeficient tažení. Pro snazší stírání výtažku jsou tažníky vybaveny odvodušňovacím otvorem, kterým se přivádí stlačený vzduch. Toto řešení nelze aplikovat pokaždé, proto je tažník doplněn o odvodušňovací rýhu nebo je koncipován kuželovým tvarem. Několik konstrukčních provedení tažníku je vyobrazeno na obr. 28.

Materiály použité na výrobu funkčních částí jsou buď z šedé litiny nebo převážně z nástrojové oceli, která je obvykle kalena a popouštěna na požadovanou tvrdost.

2.6.1 Tažnice a brzdňá žebra [21], [24], [31], [49]

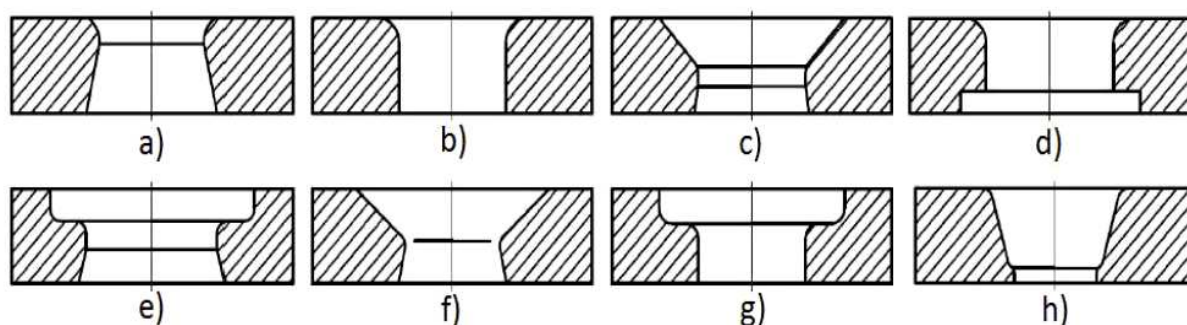
Tažnice tvoří hlavní část tažného nástroje a její tvar ovlivňuje celý tažný proces. Důležitým parametrem je tažný poloměr, který je popsán v kapitole 2.4. Tažnice se koncipuje jako celistvá nebo vložková, kde se případně vložkuje pouze tažná hrana. Objemné tažnice jsou rozděleny na několik částí, což usnadňuje manipulaci a usnadňuje záměnu poškozené části za novou. K vymezení tažnice je nutné ji aretovat pomocí šroubů a kolíků, případně zapuštěním do základové desky.

Materiálem pro výrobu je stejně jako u tažníku nástrojová ocel, která nám plně splňuje požadavky na mechanické vlastnosti. Méně namáhané tažnice mohou být konstruovány z cementačních ocelí 14 220 nebo 12 061. Namáhané vložky jsou vyráběny ze slinutých karbidů.

Tvary tažnice vyobrazené na obr. 29 jsou vhodné pro:

- setření tažníku po následném vrácení nad tažnici,
- propad výrobku a setření ostrou hranou tažnice,

- c) víceoperační tahy, kdy se výtažek vrací nad tažnici,
- d) odlehčení spodní části tažnice,
- e) druhý až n-tý tah do průměru 60 mm, výtažek se vrací nad tažnici,
- f) druhý až n-tý tah, výtažek propadává,
- g) druhý až n-tý tah do průměru 60 mm, výtažek propadává,
- h) kuželový výtažek bez použití přidržovače, výtažek propadává.



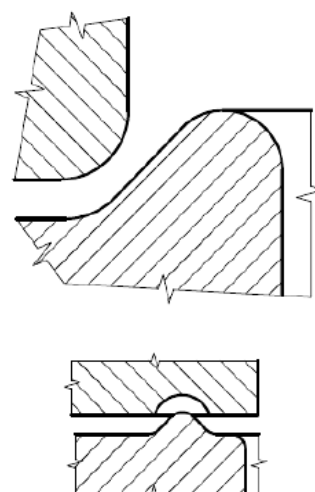
Obr. 29 Konstrukce tažnic [31]

Konstrukce tažnic je dána normou ČSN 22 7310, 22 7320 až 22 7323, 22 7326 a 22 7327. Při výrobě složitých nepravidelných výtažků se používají různé úpravy tažnic, aby se zamezilo zvlnění. Tato úprava spočívá ve zpomalení nebo urychlení toku materiálu během tažení. Pro změnu podmínek při procesu se nejčastěji používají úpravy jako:

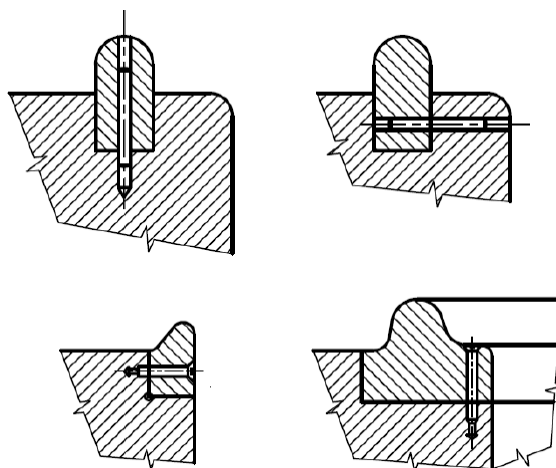
- zvětšení tlaku přidržovače,
- zvětšení stykové plochy mezi přidržovačem a výchozím polotovarem,
- vestavbou jednoho či více brzdných žeber,
- pravoúhlá brzdící žebra umístěná na tažnici.

Metoda použití žeber způsobí nárůst brzdné intenzity, přičemž se zvýší tangenciální napětí. Tato brzdná síla je vyvinuta ohybem materiálu přes žebro. Při každém ohybu se snižuje tloušťka materiálu. Zvýšení tangenciálního napětí poslouží k minimalizaci technologických přídavek, vyvinutí menších pružných deformací a lepší jakosti povrchu. K dosažení požadovaného výsledku je zapotřebí použití správného typu žeber, která se dělí na:

- Vtahovací – v tomto případě je vrchní část tažnice doplněna o zaoblený výstupek viz obr. 30. Poloměr zaoblení výstupku se volí v rozmezí 3 až 10 mm.
- Brzdící – použití tohoto druhu je z velké části u nepravidelných objemných výtažků, kde žebro je přidáno obvykle na rovinné části tažnice i v několika



Obr. 30 Vtahovací žebro [31]



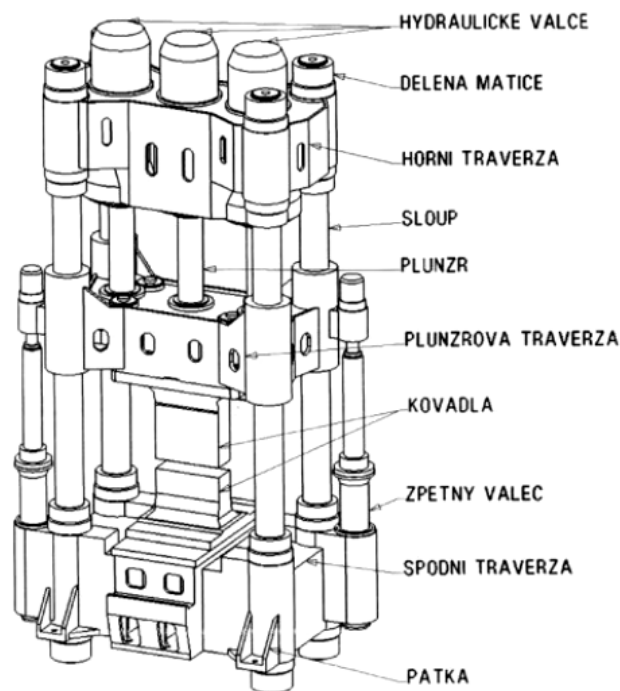
Obr. 31 Brzdná žebra [31]

řadách viz obr. 31. Na rozdíl od vtaňovacího žebra není umístěno po celém obvodu. Už z názvu je patrné, že žebro slouží ke snížení toku materiálu. Další vliv na brzdou intenzitu má výška a poloměr zaoblení žebra, které se volí na základě výšky výtažku. Přesné umístění a velikost se určuje experimentálně. Konstrukce však doporučuje předběžné umístění na rovinné části, kde může dojít k odlehčení materiálu. K dostatečnému zajištění přitlačné síly se použijí dvě i více žebër, které jsou rozmístěny v tažnici nebo přidržovači maximálně však ve třech řadách a to minimálně 30 mm od tažné hrany.

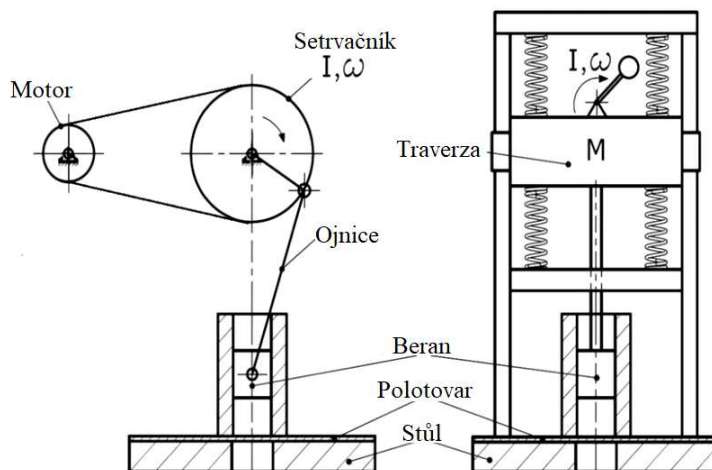
2.7 Volba stroje [31], [32], [33], [34]

Výběr vhodného stroje pro danou operaci je důležitý faktor, kde základem je množství energie a tedy i potřebná práce, kterou je nutné dodat do tvářecího procesu. Během samotného procesu hraje hlavní roli síla a její rozložení. Nástroj je upnut v beranu a na stole. Pro tváření materiálu se používají dva základní typy lisů:

- **Hydraulické lisy** – spadají do kategorie silových strojů, kde je využívána převážně potenciální energie při rychlosti beranu menší než $0,25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Důležitým parametrem je konstantní síla F , přenášená beranem stroje, která je nezávislá na dráze beranu. Hydraulické lisy pracují na základě Pascalova zákona, který říká, že tlak v kapalině se šíří rovnoměrně všemi směry. Díky tomuto jevu lze vyvozovat velké pracovní síly, které dosahují až stovky MN. Dalšími nespornými výhodami jsou plynulá regulace rychlosti beranu, nastavitelný zdvih beranu a poměrně snadná automatizace a mechanizace výrobního procesu. Nevýhodou hydraulických lisů je složitá konstrukce pohonu, která způsobí vysoké pořizovací náklady na stroj a poměrně pracnou údržbu. Další nevýhodou je nižší účinnost a pomalejší chod beranu, s čím souvisí i menší produktivita. Zjednodušené schéma stroje je vidět na obr. 32.
- **Mechanické lisy** – jsou zdvihová zařízení, která využívají nejen potenciální, ale i kinetickou energii k vyvození potřebné síly na překonání deformačního



Obr. 32 Schéma hydraulické lisy [33]



Obr. 32 Schéma výstředníkových lisů [34]

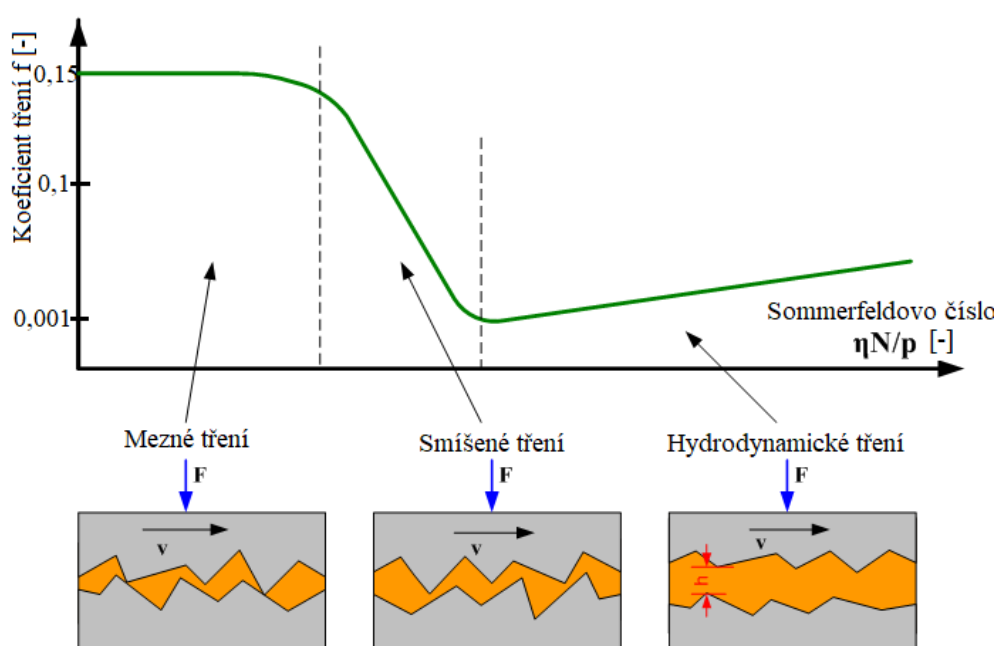
odporu. Důležitými parametry u mechanických lisů jsou jmenovitá síla F_j a dále jmenovitý zdvih h_j . Tento typ strojů je jeden z nejpoužívanějších díky jednoduchosti použité konstrukce, což má vliv na levnější pořizovací náklady. Mechanické lisy lze rozdělit podle použití převodového systému na výstředníkové, klikové, kolenové, kloubové, hřebenové, šroubové atd. Dva typy výstředníkových lisů jsou vyobrazeny na obr. 33. Nevýhodou těchto lisů je tváření velkou silou po delší dráze. U většiny není možné docílit konstantní síly. Další nevýhodou je nemožnost plynulé regulace oproti hydraulickým lisům.

2.8 Maziva [23], [35], [36]

Důležitou funkci během tažení materiálů má tření, které zvyšuje nároky na působení síly od beranu, a proto se používají maziva, která tření mezi nástrojem a materiálem snižují. Je zapotřebí tření snížit na takovou hodnotu, aby nebyl tažený materiál znehodnocen. Dále se používají k menší míře zadírání a v neposlední řadě maziva snižují opotřebení nástroje spolu se zachováním lepší jakosti povrchu. Maziva musí být taková, aby dokonale pokryla taženou plochu a vytvořila celistvou homogenní vrstvu, která dokáže odolat vysokým tlakům při tažení. Pro menší tlaky se používají čistá kapalná maziva. Pro vyšší tlaky je potřeba k mazivu přidat jemně rozptýlenou tuhou složku, které se říká plnidlo. Plnidlo má schopnost dokonalého spojení s povrchem kovu a zároveň odolat vysokým teplotám, které vznikají od tření. Jako plnidla se běžně používají mastek, plavená křída, oxid zinečnatý, zásaditý uhličitán olovnatý a především grafit. Dále se také používá spojení grafitu se sirníkem molybdeničitým, který je známý pod názvem MOLYKA.

Při výběru maziva je nutné se řídit určitými parametry jako:

- velikosti tlaků během tváření,
- velikost teploty,
- intenzita mazání,
- náklady na maziva
- pracnost nanášení a zároveň odstranění.



Obr. 34 Striebeckův diagram [36]

Například grafit je jedno z kvalitních tuhých maziv, avšak díky složitosti odstranění z povrchu vylisku po tažení zvyšuje cenovou a časovou náročnost. V případě tažení menších výtažků je vhodným mazivem lanolín a také lůj, který značně snižují zatížení na tvářecí nástroje. Oproti minerálním olejům obsahují více nasycených glycerínů, což pomáhá mazacím schopnostem i za zvýšených povrchových teplot.

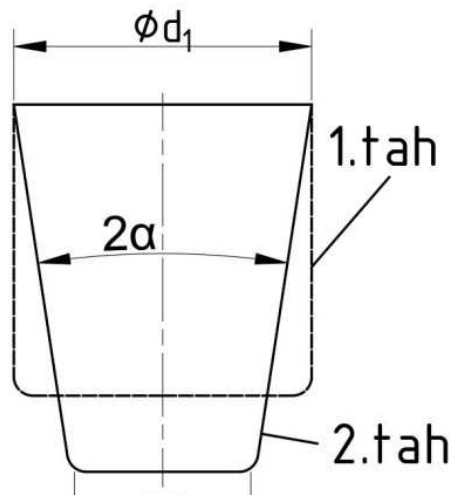
Další sekci tvoří hypoidní maziva, které jsou složeny z minerálních olejů a sloučeninami obsahujícími síru a chlor. Tento druh maziv vytváří jemný povlak amorfního oxidu, což je výborný základ pro kapalně mazivo. Další možnou úpravou povrchu je fosfátování, které vytvoří mezivrstvu mezi materiálem a povrchem. Důležitým aspektem po procesu fosfátování je včasné nanesení maziva, kde se většinou součást ponoří do horkého roztoku mýdla.

Tření se rozlišuje podle třech oblastí: mezní, smíšené a hydrodynamické, kdy během procesu plošného tváření se pohybujeme v oblasti smíšeného tření. Smíšené tření je mezistupeň mezi stýkajícími se plochami a plně oddělenými povrchy obou materiálů. Pro určení stupně tření je nápomocen Striebeckův diagram, který je vidět na obr. 34.

2.9 Tažení komolého kužele [22]

Tažení tvaru komolého kužele má jiné podmínky tažení oproti tažení součástí válcového tvaru. Nejdůležitějším rozdílem je velká nepřidržívaná plocha v místě, kde kuželový tažník začne táhnout plech, kde rozdíl malého průměru tažníku je velký oproti průměru tažnice. Tento rozdíl může zapříčinit ztrátu stabilitu materiálu. Tato ztráta stability je způsobena tangenciálním tlakovým napětím. Specifika tažení komolého kužele se rozděluje podle počtu tažných operací:

- Jednooperační tažení kužele – tento druh tažení lze aplikovat v případě, že stupeň tažení 'K' je přibližně roven stupni tažení, který odpovídá jednooperačnímu tažení válcových výtažků. Tento druh tažení nelze provádět 'na propad', ale je nutné v závěrečné fázi výtažek kalibrovat na kužel ve funkční části tažnice. Jestliže je požadována lepší rozměrová a povrchová jakost kužele, tak tažnice a tažník má odlišnou kuželovitost. Tento rozdíl se provádí vzhledem ke změně tloušťky plechu, protože nastává zeslabování materiálu v místě dna výtažku. Když během této operace nastává zvlnění kužele, tak je třeba součást táhnout na více tahů.
- dvou a více operační tažení kužele – tento druh tažení nastává v případě, když je malý úhel kuželu i malý poměr h/d nebo když stupeň tažení 'K' nepřevyšuje přípustný stupeň tažení při víceoperačním tažení válcových součástí.



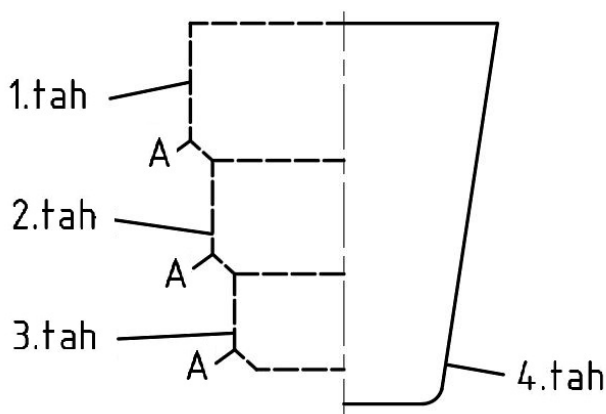
Obr. 35 dvouoperační tažení kužele [22]

Když tažení vychází na 2 operace, tak v první operaci je vytažena válcová část a následně v dalším tahu je z válcové části vytažen komolý kužel, jak je znázorněno na obr. 35.

V případě, že je potřeba více operací k tažení tak nastávají 2 možnosti:

- a) Stupňovité válcové tažení – tato technologie spočívá v postupném odstupňování tahů do válcovitých částí, přičemž poslední operace kalibruje předchozí tažení na kužel jak je vidět na obr. 36. Přičemž na levé straně je

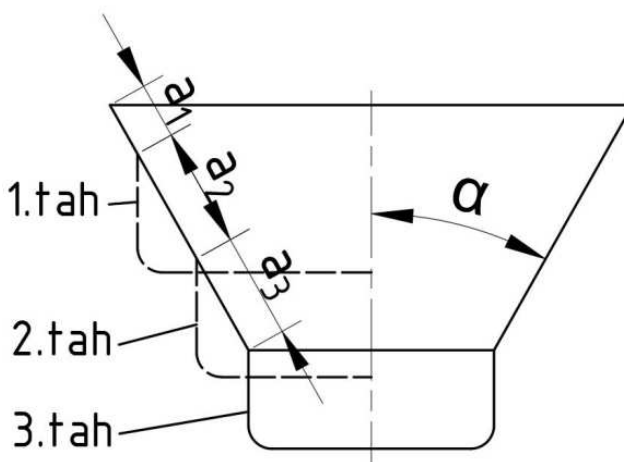
vidět odstupňování válcových součástí a v pravé části je poslední kalibrační operace. Toto odstupňování musí být provedeno tak, aby tečna procházející body 'A' u všech tažných operací, měla stejný sklon k ose jako kužel výsledné součásti. Tento případ má negativum v poslední kalibrační fázi, kde místa 'A' se zmenšují a rozměry vnitřních úhlových částí se zvětšují. Tato fáze způsobí, že dochází ke ztrátě stability, která vzniká tangenciálním tlakovým



Obr. 37 Stupňovité tažení kužele [22]

napětím. Tímto způsobem tažení nemusí být kvalita povrchu kuželové části dokonalá, a proto je nutné po kalibraci zařadit další operaci např. kroužlení.

- b) Postupné tažení kužele – tento druh tažení spočívá nejenom v tažení válcových součástí, ale už i v první operaci je vytažena kuželový plášť o délce ' a_1 ' viz obr. 37 a současně i válcová část. Ve druhé operaci je kuželová část prodloužena o vzdálenost ' a_2 ' a v poslední fázi je kuželová část opět zvětšena o velikost ' a_3 '. Tento druh tažení se používá u širokých přírub, tzn., že v první operaci je vytažen výtažek s výsledným průměrem příruby, včetně kuželové části. Tyto rozměry zůstávají stejné a v dalších operacích se jenom prodlužuje kužel o požadovaném úhlu ' α '. Výhodou této metody je, že koncový produkt má zaručenou kvalitu povrchu, takže není nutné dalších operací oproti předchozí metodě.



Obr. 36 Stupňovité tažení kužele [22]

2.10 Technologičnost [37]

Při návrhu výtažku jsou důležitými faktory limity technologie tažení, přičemž mezi nejdůležitější patří změna tloušťky plechu a to i při tažení bez ztenčení stěny, kde dochází k místnímu zeslabení. Tažení bez ztenčení stěny je zjednodušený model, který neuvažuje zeslabení na přechodu dna s pláštěm, které u vysokých stupňů tažení může dosahovat 20 % až 30 % původní tloušťky materiálu.

Všechny zaoblení u výtažků je potřeba důkladně navrhnout, jelikož ovlivňují celý proces tažení, dokonce i hloubku tažení v jednotlivých tazích. Tyto místní úpravy lze měnit i během tažení testovacích vzorků, kde se ukážou nedostatky během procesu tažení. Se změnou poloměru souvisí i zvýšení drsnosti poloměru, které narůstá spolu se zvětšením deformace.

Během tažení dochází u výtažků ke kuželovitosti, která dosahuje 1° až 3° . Tento jev je zapříčiněn odpružením materiálu vlivem elastické deformace. Díky této vlastnosti se nedoporučuje předepisování zvýšené tolerance na tloušťku stěny.

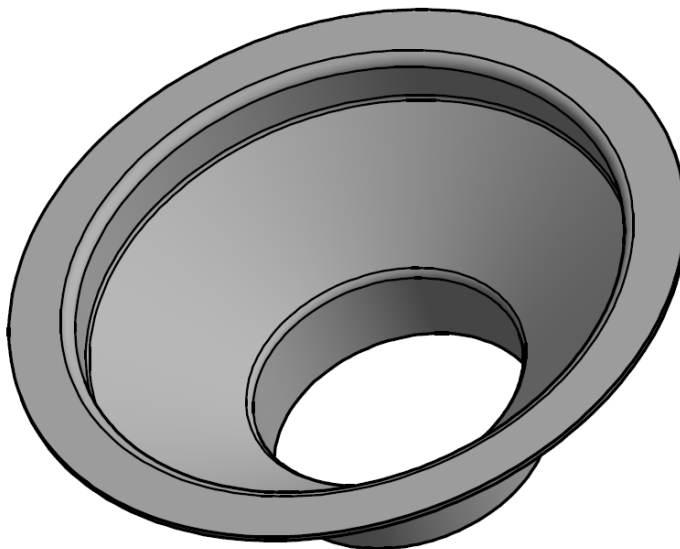
Posledním technologickým aspektem je tvar dna a příruby, kde se nedoporučují šikmé, kuželové tvary. Kuželovou přírubu do úhlu 45° lze táhnout během dvou tahů. Naopak jsou z technologického hlediska nevyhovující nesouměrné šířky, složitě tvarované a široké příruby.

Při běžném tažení se dosahuje přesnosti od IT 11 až IT 12, ale při zařazení další kalibrační operace lze dosáhnout přesnosti IT 8 až IT 9.

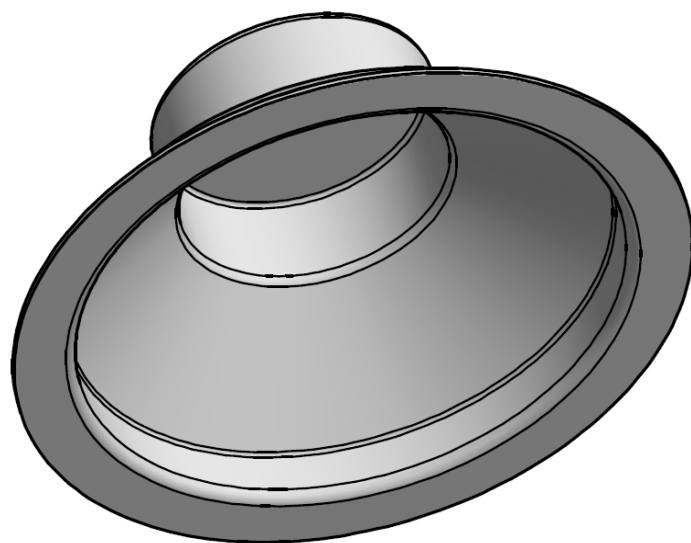
3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Anemostat slouží jako koncová část vzduchotechnické soustavy. Je to viditelná část umístěná na stropě převážně v místech, kde je nutná cirkulace vzduchu. Součást anemostatu bude vyrobena z oceli 11 305 (DC04) o konstantní tloušťce 1 mm a to v celkové sérii 15 000 kusů za rok.

Z technologického hlediska je nutná rovinnost příruby, avšak není nutné dbát na jakosti kuželové a válcové plochy, která je schovaná a není tedy vidět. Protože anemostatem neproudí velké množství vzduchu, tudíž i se sníženou jakostí nedochází k vibračním či jiným termodynamickým jevům.



Obr. 38 Konečný tvar součásti



Obr. 39 Tvar součásti bez prostřížení

Největší technologický problém nastává při tažení kuželové plochy, kdy vzniklá tažná mezeru je větší než u válcových součástí a může docházet ke zvlnění příruby, což je nežádoucí.

Součást kuželového tvaru, viz obr. 38, bude vyrobena bez prostřížení dna, což je vidět na obr. 39. Prostřížení dna nebude v této práci zahrnuto.

Z konstrukčního hlediska má tažný poloměr být zvolen v rozsahu 4 až 10-ti násobku tloušťky plechu, čím menší tím menší zvlnění okraje, ale zároveň s nárůstem namáhání na materiál. V mém případě je zvolen jako 5-ti násobek tloušťky materiálu.

3.1 Velikost výchozího polotovaru

Určení výchozího rozměru pro následné tažení je jedna z důležitých operací pro správný průběh tažení. Z ekonomického hlediska nesmí být velký, aby nevznikali příliš velké ztráty materiálu, a naopak výchozí polotovar nesmí být malý, kde by docházelo k nedostatku materiálu, který je vtahován mezi tažník a tažnici. K dispozici se nabízí několik typů pro zjištění výchozího polotovaru:

- Numerická metoda – metoda založená na zákonu zachování objemu, u které je materiál rozdělen na jednotlivé úseky (plochy), kde součást anemostatu je dle obr. 40 rozdělena na 7 ploch, které se spočítají jako:

$$S_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 - d_2^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (235^2 - 202^2) = 11326 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_2 \cdot r_1 - 4 \cdot r_1^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 205 \cdot 5 - 4 \cdot 5^2) = 4901 \text{ mm}^2$$

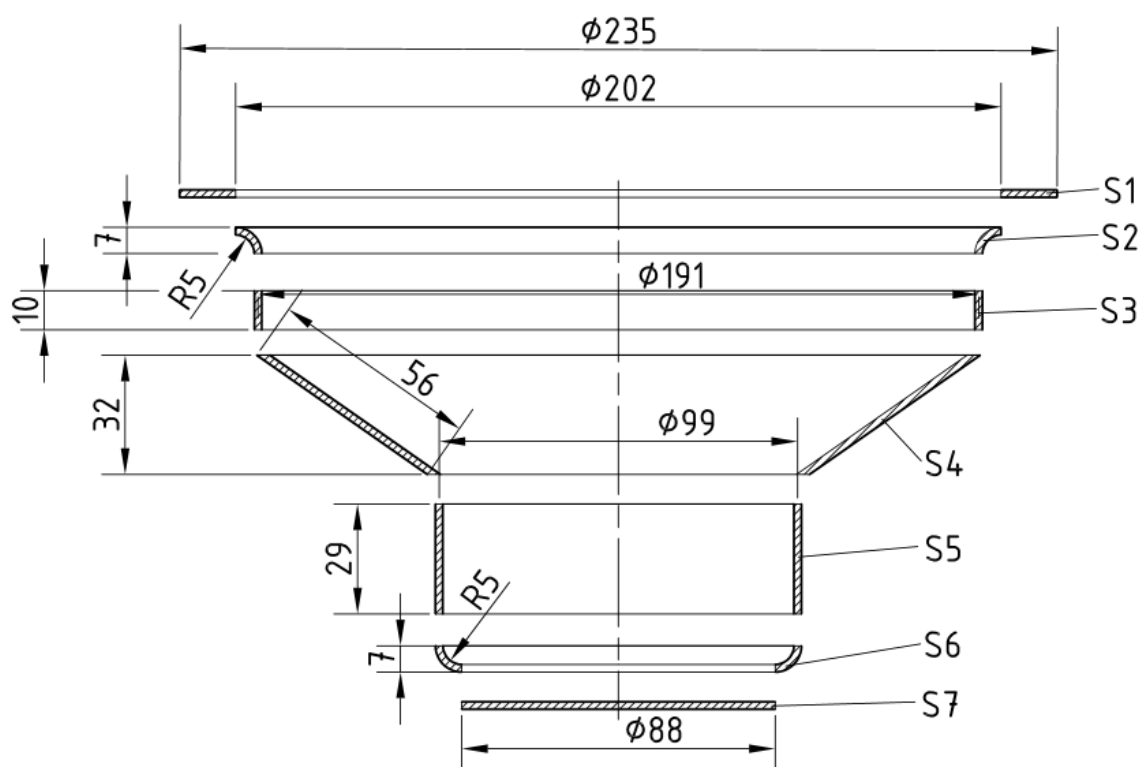
$$S_3 = \pi \cdot d_3 \cdot h_1 = \pi \cdot 191 \cdot 10 = 6000 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_3 + d_4) \cdot \sqrt{(d_3 - d_4)^2 + 4 \cdot h_2^2} = \frac{\pi}{2} \cdot f_1 \cdot (d_3 + d_4)$$

$$S_4 = \frac{\pi}{2} \cdot 56 \cdot (193 + 96) = 25422 \text{ mm}^2$$

$$S_5 = \pi \cdot d_5 \cdot h_3 = \pi \cdot 99 \cdot 29 = 9020 \text{ mm}^2$$

$$S_6 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_6 \cdot r_2 + 4 \cdot r_2^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 84 \cdot 5 + 4 \cdot 5^2) = 2230 \text{ mm}^2$$



Obr. 40 Rozdělení součásti na jednotlivé plochy

$$S_7 = \frac{\pi}{4} \cdot d_6^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 88^2 = 6082 \text{ mm}^2$$

Celková plocha se spočítá jako součet všech dílčích ploch:

$$S_c = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7$$

$$S_c = 11326 + 4901 + 6000 + 25422 + 9020 + 2230 + 6082 = 64981 \text{ mm}^2$$

Průměr výchozího polotovaru se určí dle vzorce (2.7):

$$D_{pn} = \sqrt{\frac{4S_c}{\pi}} = 1,13\sqrt{S_c} = 1,13 \cdot \sqrt{64\,981} = 288,05 \text{ mm}$$

kde: D_{pn} ... výchozí průměr přístřihu spočítaný numerickou metodou [mm]

Výsledný průměr výchozího polotovaru numerickou metodou vyšel 288,05 mm. Touto metodou je zvolen výsledný průměr přístřihu 288 mm.

- metoda použitím Softwaru – metoda, kdy je součást nakreslena v 3D modelovacím programu. Kde software, v mém případě Autodesk Inventor 2017, spočítá objem součásti, který se následně použitím zákona zachování objemu aplikuje na výpočet



Hmotnost	0,547 kg
Povrch	140074,315 mm ²
Objem	69668,020 mm ³

Obr. 41 Model vytvořený pomocí Software

průměru přístřihu. Na obr. 41 je zobrazen model s programovými informacemi, kde důležitým parametrem je objem, který je 69 668 mm³.

Průměr přístřihu pomocí objemu spočítaným software Autodesk Inventor se následně vypočte jako:

$$D_{ps} = \sqrt{4 \cdot \frac{V_s}{\pi \cdot s_0}} = \sqrt{4 \cdot \frac{69\,668}{\pi \cdot 1}} = 297,83 \text{ mm}$$

kde: D_{ps} ...výchozí průměr polotovaru spočítaný pomocí Software [mm]

Výsledný výchozí průměr spočítaný pomocí zákona zachování objemu s použitím Software je zvolen jako 298 mm. Rozdíl mezi metodou numerickou a použitím počítače je způsobený zaokrouhlovací chybou a také chybou, kde se kvůli malé velikosti zanedbávají zaoblení vzniklé mezi kuželovou a válcovou plochou. Tento rozdíl je přibližně 10 mm a kvůli této skutečnosti je pro další postup zvolen průměr přístřihu spočítaný přesnější metodou pomocí software. Pro další postup je tedy uvažováno s přístřihem 298 mm.

3.1 Stanovení počtu tažných operací

Mezi důležité parametry při návrhu tažení je určení počtu tažných operací. Východiskem pro výpočet je spočítaný průměr přístřihu, který vyšel 298 mm. Celkový součinitel tažení se spočítá ze vztahu (2.10):

$$M_c = \frac{\phi d_n}{\phi D_0} = \frac{98}{298} = 0,33$$

Celkový součinitel vyšel 0,33, a proto je nutné součást táhnout na více operací. Celkový počet operací se spočítá dle vztahu (2.12) jako:

$$n = 1 + \frac{\ln(d_n) - \ln(M_1 \cdot D_p)}{\ln M_s} = 1 + \frac{\ln(96) - \ln(0,58 \cdot 298)}{\ln(0,8)} = 3,48$$

Výsledkem předchozího výpočtu je určení počtu tahů na 4 operace, kde součinitel tažení M_1 byl zvolen z přílohy 2 Tab. 3.2 a střední součinitel M_s byl zvolen jako střední hodnota z intervalu 0,75 až 0,85. Dalším krokem je rozdělení tažení v jednotlivých krocích, tak aby došlo k co nejefektivnějšímu výsledku. Důležité rozmezí součásti tvoří kuželová plocha, podle které bude odstupňování tahů koncipováno. Minimální průměr výtažku jaký lze vytáhnout v dané operaci se určí dle vztahu (2.11):

$$d_1 = M_1 \cdot D_{ps} = 0,56 \cdot 298 = 167 \text{ mm}$$

kde: d_1 ... minimální průměr jakého lze docílit v 1. operaci [mm]

Výpočet prvního průměru vyšel 167, avšak díky tvaru součásti je z technologického důvodu první tah přizpůsoben na nejmenší průměr 175 mm. V prvním tahu je současně tažen válcový průměr na 190 mm, část kuželové plochy a válcový průměr 175 mm. Následuje tažení, kde v každém tahu je tažena část kuželové plochy a válcová část o minimálním spočítaném průměru viz obr. 37. Minimální průměry zbývajících tahů se spočtou:

$$d_2 = M_2 \cdot d_1 = 0,78 \cdot 175 = 137 \text{ mm}$$

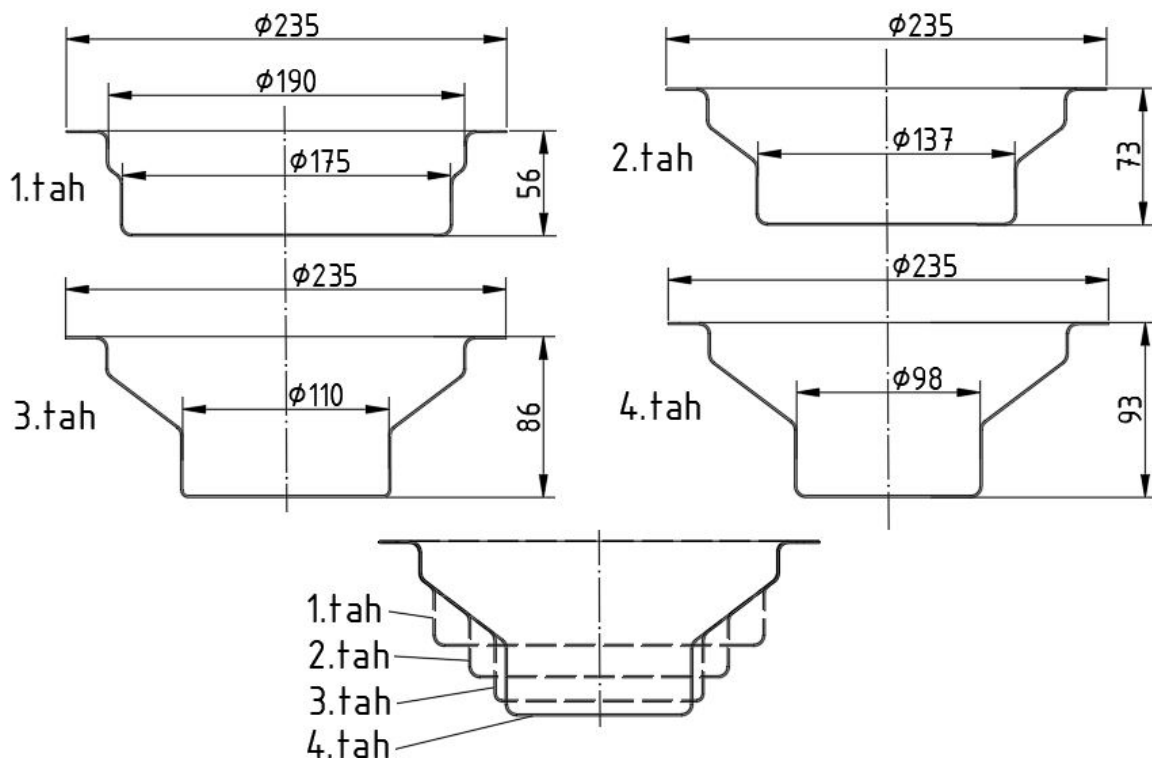
$$d_3 = M_3 \cdot d_2 = 0,80 \cdot 137 = 110 \text{ mm}$$

$$d_4 = M_4 \cdot d_3 = 0,82 \cdot 110 = 90 \text{ mm}$$

kde: d_{2-4} ...průměry výtažku v 2. až 4. operaci

M_{1-4} ...koeficient tažení pro 1. až 4. operaci viz příloha 2 Tab. 3.2.

Z výpočtu vyplývá, že minimální průměr, který lze táhnout ve 4. operaci je 90 mm, jelikož výsledný nejmenší průměr činí 98 mm, tak lze součást táhnout na tyto 4 tahy. Na obr. 42 je zobrazen postup tažení, kdy v každém tahu je prodloužena kuželová plocha a vytáhena válcová část o spočítaných průměrech. Pro vyobrazení odstupňování byl použit software Inventor 2017, díky kterému mají odstupňované výtažky stejný objem materiálu.



Obr. 42 Odstupňované tahy součásti

Je vidět, že se zmenšujícím se průměrem roste hloubka výtažku až na požadovanou hloubku 93 mm, která je dosažena v posledním 4. tahu. Tento typ postupného tažení kužele, zaručuje přesné rozměry a jakost povrchu, takže není nutné dalších kalibračních operací.

Výsledný počet tahů má vliv na průměr přístřihu u součástí, které budou mít ve výsledné fázi ostříženou přírubu. Platí, že čím více tahů, tím větší přídavek na ostřížení. Jelikož je součást navržena na 4 tahy, tak dle přílohy 2 Tab. 3.1, je potřeba původní výpočet průměru přístřihu navýšit o 6 mm. Výsledný průměr přístřihu je:

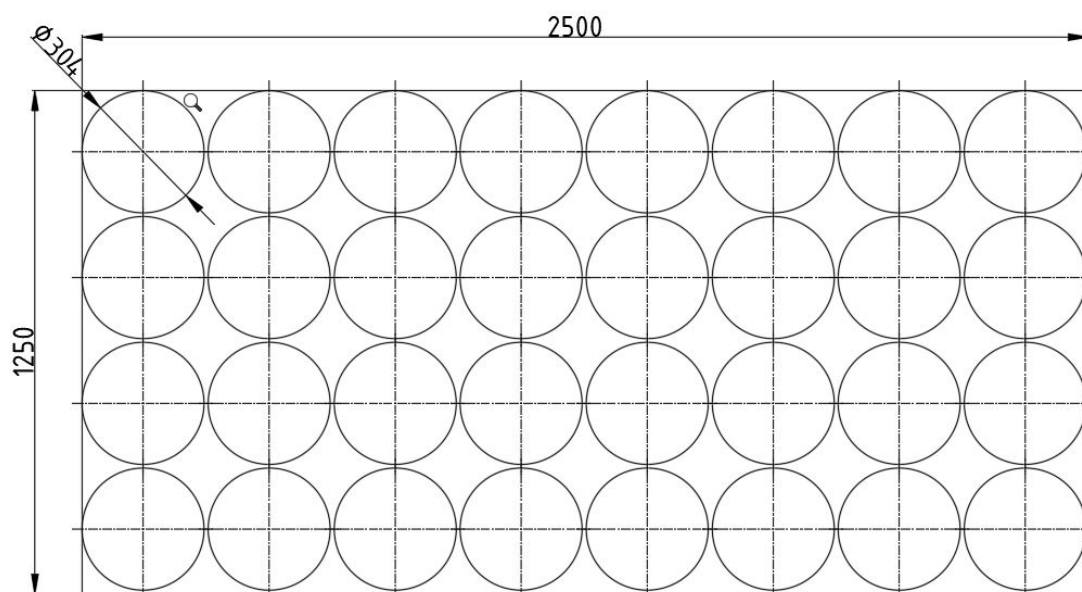
$$D_p = D_{ps} + 6 = 298 + 6 = 304 \text{ mm}$$

3.2 Získání polotovaru [38]

Při výrobě součásti technologií hlubokého tažení zásobují hutě závod svitky nebo tabulemi plechu. Svitky jsou výhodné u menších výtažků a při větších sériích. Použití svítků plechu vyžaduje pořízení celé linky, které dopravuje materiál až k vysekávacímu stroji. V tomto případě je většinou výhodné použití menších šířek plechů, kde je snazší manipulace s materiálem. S menší šíří plechu je také možné vytvořit postupový nástroj, kde odpadá manipulace s materiálem mezi jednotlivými procesy. Vzhledem k vysokým počátečním investicím do vysekávací linky je většinou použít svítků neekonomické a vyplatí se pouze u velkých sérií.

Tabule plechu je od počáteční investice linky osvobozena, avšak je nutné přihlédnout na vyšší pořizovací cenu stejného objemu materiálu oproti svítku. Vzhledem k většímu průměru polotovaru a menší sérii jsou jako vstupní materiál zvoleny tabule plechu. Plech o tloušťce 1 mm je dodáván v základních rozměrech 2000 x 1000 mm, 2500 x 1250 mm a 3000 x 1500 mm. Aby nevznikal velký materiálový odpad je nutné správně polotovar rozmístit. Pro získání polotovaru se bere v potaz technologie plazmového řezání, řezání pomocí laserem či vodním paprskem a dále také stříhání.

Řezání pomocí plazmy vnáší do okraje části plechu teplo, které následně může mít vliv na další zpracování. Další nevýhodou plazmového řezání je větší šíře řezu a nedokonalost při vstupu a výstupu plazmového paprsku. Výhodou je nižší provozní cena, avšak za cenu nižších rychlostí oproti laseru a vodnímu paprsku. Vodní paprsek a laser jsou si velice podobné. Mezi jejich klady patří vysoké výkony, menší šíře řezu a skoro žádné tepelné ovlivnění řezaného materiálu. Nevýhodou těchto strojů jsou vyšší pořizovací náklady.



Obr. 43 Rozložení přístřihu na tabuli plechu

Poslední možnou technologií je stříhání v nástroji, kde vyhrává rychlost získání výstřižků. Jelikož roční série činí 15000 kusů a není předpoklad, že firma vlastní další lis určený přímo na stříhání je nejvýhodnější variantou získání polotovaru v kooperaci. V tomto případě si firmy účtují většinou cenu za metr řezu. Výhodným východiskem je nákup vlastních tabulí plechu, kde si firma ohlídku kvalitu a jakost plechu spolu s lepší dojednanou cenou materiálu.

Při použití této metody je nutné předem myslet na náklady spojené s manipulací a kontrolou materiálu a propočítat kolik tabulí bude zapotřebí na roční sérii. Vzhledem k rozmístění materiálu na tabuli plechu a nejnižšímu odpadu je nejvýhodnější tabule plechu o rozměrech 2500 x 1250 mm. Toto tvrzení je založeno na jednoduchém výpočtu vydělením rozměru strany plechu a průměru přístřihu. Rozložení potřebných přístřihů na tabuli je znázorněno na obr. 43. Při použití tohoto formátu plechu je nutné znát celkový odpad. Z obrázku lze vyvodit, že z jedné tabule plechu je možné získat 32 přístřihů. Pro další výpočet je nutné znát plochu přístřihu a plochu tabule, která se vypočte:

$$S_{pr} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} = \frac{\pi \cdot 304^2}{4} = 72\,583 \text{ mm}^2$$

kde: S_{pr} ...Plocha přístřihu [mm^2]

$$S_t = A \cdot B = 1250 \cdot 2500 = 3\,125\,000 \text{ mm}^2$$

kde: S_t ... plocha tabule plechu [mm^2]
A,B... rozměry tabule [mm]

Následně se dá vypočíst procentuální využitelnost tabule ' μ ':

$$\mu = \frac{i_p \cdot S_{pr}}{S_t} \cdot 100 = \frac{32 \cdot 72\,583}{3\,125\,000} \cdot 100 = 74,32 \% \quad (2.32)$$

kde: μ ... procentuální využití tabule [%]
 i_p ...počet přístřihů na jedné tabuli [-]

Výsledkem je využití tabule plechu ze 74,32 %, což je na běžné poměry u kruhové přístřihu velmi dobrý výsledek. Výsledný počet tabulí a metoda řezání v kooperaci bude zhodnocena v ekonomické části, jelikož jako nejdůležitější parametr je cena.

3.3 Tažná vůle a použití přidržovače

Správná tažná mezera má velký vliv na výslednou rozměrovou přesnost a jakost. Jelikož u součásti viz 04-DP-152375-10 není potřeba zvláštních rozměrových a geometrických přesností, tak lze tažnou vůli volit na horní mezi a to pro první tah dle vztahu (2.15):

$$z_1 = 1,3 \cdot s_0 = 1,3 \cdot 1 = 1,3 \text{ mm}$$

Pro 2. až 4. tah je tažná mezera volena opět na horní mezi ze vztahu (2.16):

$$z_{2 \div 4} = 1,2 \cdot s_0 = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ mm}$$

Ke kontrole slouží Tab. 2, kde je tažná vůle zvolena z tabulky a pro tuto součást vychází jako 1,2 mm, ale tato tabulka neuvažuje kalibrační tahy, kde je potřeba mezeru zmenšit na co možnou nejmenší velikost.

Použití přidržovače má vliv na rozměrovou přesnost u příruby, aby nedošlo ke zvlnění s rozdílnou tloušťkou materiálu, je potřeba přidržovač použít. Jelikož u součásti anemostatu, tvoří příruba viditelnou plochu. Tato plocha je běžným okem, v místech použití anemostatu, vidět. Příruba součásti při použití dosedá většinou na sádkartonovou stropní desku, která je dokonale rovná, a proto i příruba musí být dostatečně rozměrově přesná.

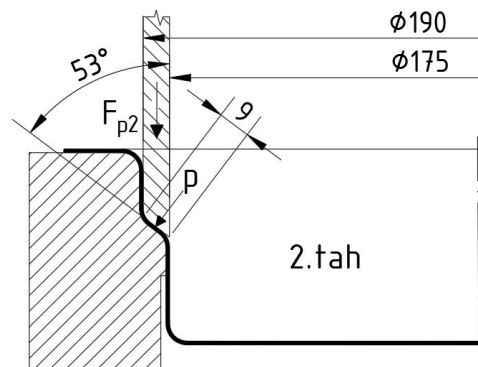
Použití přidržovače lze určit ze vztahu (2.19):

$$u = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{S_0}}{\sqrt[3]{D_p}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{1}}{\sqrt[3]{304}} \right) = 87,6$$

Materiálová konstanta 'Z' je zvolena z intervalu $1,85 \div 1,95$ jako prostřední hodnota 1,9. Jelikož koeficient 'u' splňuje podmínku vztahu (2.20) je potřeba přidržovač použít:

$$u \geq \frac{100 \cdot d}{D}; \quad 87,6 > \frac{100 \cdot 98}{304}; \quad 87,6 > 32,2$$

Styková plocha mezi přidržovačem a přístřihem se během tažení mění. V druhém, třetím a čtvrtém tahu bude přidržovač zkosený a bude přidržována kuželová plocha, a proto je nezbytné určit přidržovací sílu pro všechny tahy. Na obr. 44 je znázorněna síla přidržovače a přidržovač pro 2. tah. Jednotlivé stykové plochy se spočítají jako:



Obr. 44 Přidržovač pro 2. tah

$$S_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_p^2 - D_c^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (304^2 - 202^2)$$

$$S_1 = 40\,536\text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot l_1 \cdot (D_{p1} + d_1)$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot 9 \cdot (190 + 175) = 5\,160 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = \frac{\pi}{2} \cdot l_2 \cdot (D_{p1} + d_2) = \frac{\pi}{2} \cdot 33 \cdot (190 + 137) = 16\,950 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = \frac{\pi}{2} \cdot l_3 \cdot (D_{p1} + d_2) = \frac{\pi}{2} \cdot 50 \cdot (190 + 110) = 23\,562 \text{ mm}^2$$

Z předchozích výpočtů jednotlivých styčných ploch lze spočítat sílu přidržovače pro jednotlivé tahy ze vztahu (2.23):

$$F_{p1} = S_1 \cdot p = 40536 \cdot 2,1 = 85\,126 \text{ N}$$

$$F_{p2} = S_2 \cdot p \cdot \sin(\alpha) = 5160 \cdot 2,1 \cdot \sin(53) = 8\,654 \text{ N}$$

$$F_{p3} = S_3 \cdot p \cdot \sin(\alpha) = 16950 \cdot 2,1 \cdot \sin(53) = 28\,427 \text{ N}$$

$$F_{p4} = S_4 \cdot p \cdot \sin(\alpha) = 23562 \cdot 2,1 \cdot \sin(53) = 39\,517 \text{ N}$$

Přidržovací tlak p byl zvolen z Tab. 3 viz kapitola 2.3.

3.4 Určení tažné síly a práce

Při návrhu tažné operace je nutné znát celkovou sílu potřebnou na vytažení součásti pro pozdější určení stroje a dimenzování nástroje. Práce udává energetické zatížení stroje. Pomocí těchto údajů lze zjistit příkon a z něj se následně odvíjí ekonomičnost procesu. Důležitým aspektem při návrhu je výpočet kritické síly k utržení dna ze vztahu (2.25), která nesmí být překročena:

$$F_{krit1} = \pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 175 \cdot 1 \cdot 310 = 170\,431 \text{ N}$$

$$F_{krit2} = \pi \cdot d_2 \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 137 \cdot 1 \cdot 310 = 133\,423 \text{ N}$$

$$F_{krit3} = \pi \cdot d_3 \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 110 \cdot 1 \cdot 310 = 107\,128 \text{ N}$$

$$F_{krit4} = \pi \cdot d_4 \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 98 \cdot 1 \cdot 310 = 95\,442 \text{ N}$$

Kritická hodnota síly na utržení dna klesá, jak je vidět na výsledcích. Je to způsobené zmenšujícím se průměrem. Skutečná síla, která je potřeba na vytažení v jednotlivých tazích se vypočte ze vztahu (2.28):

$$F_{t1} = \pi \cdot d_{s1} \cdot s_0 \cdot k_1 \cdot R_m = \pi \cdot 176 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 310 = 159\,407 \text{ N}$$

$$F_{t2} = \pi \cdot d_{s2} \cdot s_0 \cdot k_2 \cdot R_m = \pi \cdot 138 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 310 = 114\,238 \text{ N}$$

$$F_{t3} = \pi \cdot d_{s3} \cdot s_0 \cdot k_3 \cdot R_m = \pi \cdot 111 \cdot 1 \cdot 0,80 \cdot 310 = 86\,482 \text{ N}$$

$$F_{t4} = \pi \cdot d_{s4} \cdot s_0 \cdot k_4 \cdot R_m = \pi \cdot 99 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 310 = 72\,312 \text{ N}$$

Opravný koeficient k_1 byl stanoven z tabulky 4 a koeficienty k_2 , k_3 a k_4 byly zvoleny z tabulky 5. Výsledky jednotlivých tažných sil odpovídají podmínce (2.30):

$$F_{t1-4} < F_{krit1-4}$$

Celková síla se skládá ze součtu síly přidržovací, tažné a vyhazovací. Jelikož je vyhazovací síla kvůli své velikosti zanedbána, tak se celková síla určí ze vztahu (2.29):

$$F_{tc1} = F_{t1} + F_{p1} = 159407 + 85126 = 244,5 \text{ kN}$$

$$F_{tc2} = F_{t2} + F_{p2} = 114238 + 8654 = 122,9 \text{ kN}$$

$$F_{tc3} = F_{t3} + F_{p3} = 86482 + 28427 = 114,9 \text{ kN}$$

$$F_{tc4} = F_{t4} + F_{p4} = 72312 + 39517 = 111,8 \text{ kN}$$

Celková síla, která slouží pro určení lisu se spočítá jako součet všech celkových sil ze všech 4 operací:

$$F_{tc} = F_{tc1} + F_{tc2} + F_{tc3} + F_{tc4} = 244,5 + 122,9 + 114,9 + 111,8 = 594,1 \text{ kN}$$

Výsledná celková síla pro určení lisu je 594 kN. Následuje výpočet tažné práce pro všechny operace viz vztah (2.31):

$$A_{t1} = \frac{(C \cdot F_{tc1} \cdot h_1)}{1000} = \frac{0,7 \cdot 244500 \cdot 0,056}{1000} = 9,58 \text{ kJ}$$

$$A_{t2} = \frac{(C \cdot F_{tc2} \cdot h_2)}{1000} = \frac{0,7 \cdot 122900 \cdot 0,017}{1000} = 1,46 \text{ kJ}$$

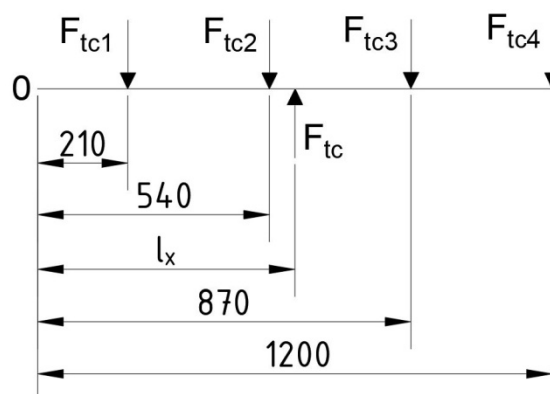
$$A_{t3} = \frac{(C \cdot F_{tc3} \cdot h_3)}{1000} = \frac{0,7 \cdot 114900 \cdot 0,013}{1000} = 1,05 \text{ kJ}$$

$$A_{t4} = \frac{(C \cdot F_{tc4} \cdot h_4)}{1000} = \frac{0,7 \cdot 111800 \cdot 0,007}{1000} = 0,55 \text{ kJ}$$

Koeficient tažné práce C byl zvolen pro všechny čtyři operace jako střední hodnota z intervalu 0,6 až 0,8. Výsledky spotřebovaných prací u jednotlivých operací dávají závěr, že s dalšími následujícími tahy, je spotřebovaná práce mnohem menší. Je to způsobené délkou tažníku, kde v první operaci tažník vykoná práci na dráze 56 mm. V dalších tazích, už jsou výšky mnohem menší.

3.5 Určení polohy stopky a volba stroje [39]

Správný proces celého tažení zaručuje velikost a umístění tažné síly. Jelikož je nástroj sdružený, tak je nutné spočítat správnou polohu celkové tažné síly. Tato poloha se určí z podmínky rovnováhy 4 zjištěných sil, které jsou zapotřebí na každou tažnou operaci. Zjednodušený náčrt rovnováhy je vidět na obrázku 45. Výsledkem bude poloha stopky nástroje, která se upne k beranu lisu a tím je zaručeno rozložení jednotlivých sil do všech čtyř operací. Podmínka rovnováhy je dána rovnicí:



Obr. 45 Podmínka rovnováhy

$$F_{tc1} \cdot l_{x1} + F_{tc2} \cdot l_{x2} + F_{tc3} \cdot l_{x3} + F_{tc4} \cdot l_{x4} = F_{tc} \cdot l_x$$

kde: l_{x1-4} ...vzdálenosti tažníků od podpory [mm]
 l_x ... poloha stopky [mm]

Vyjádřením l_x z předchozí rovnice vznikne jednoduchý vztah, který udává umístění stopky:

$$l_x = \frac{F_{tc1} \cdot l_{x1} + F_{tc2} \cdot l_{x2} + F_{tc3} \cdot l_{x3} + F_{tc4} \cdot l_{x4}}{F_{tc}}$$

$$l_x = \frac{244,5 \cdot 210 + 122,9 \cdot 540 + 114,9 \cdot 870 + 111,8 \cdot 1200}{594,1} = 592,2 \text{ mm}$$

Výsledkem je vzdálenost celkové síly beranu lisu od podpory. Tento rozměr udává umístění stopky, jelikož jsou všechny 4 operace v jedné ose, tak stopka je umístěna 52,2 mm od osy tažníku ve druhém tahu.

Volba vhodné tvářecího stroje závisí především na velikosti celkové síly a spotřebované práce. Tyto veličiny jsou prvotní při návrhu stroje. Vypočtené nízké tvářecí síly a práce splňuje většina strojů určených pro tažení plechů. Dalším důležitým údajem jsou zdvih a velikosti pracovního prostoru. Jelikož se jedná o sdružený nástroj, který je složen ze 4 operací, tak je nástroj poměrně velký, a proto je pro volbu rozhodující rozměr pracovního prostoru.

Všem zmiňovaným faktorům nejlépe vyhovuje univerzální hydraulický lis CTH 400. Tento typ lisu je vhodný jak pro plošné, tak i pro objemové tváření. Firma ŽDAS nabízí doplnění lisu o další příslušenství, jako jsou horní a spodní vyhazovač, zařízení pro automatickou výměnu nástroje, upínky



Obr. 46 Hydraulický lis CTH [39]

a další možné úpravy. Lisy CTH jsou svislé konstrukce a mají svařovaný stojan. Pohon lisu lze umístit na stojan nebo mimo vlastní zařízení.

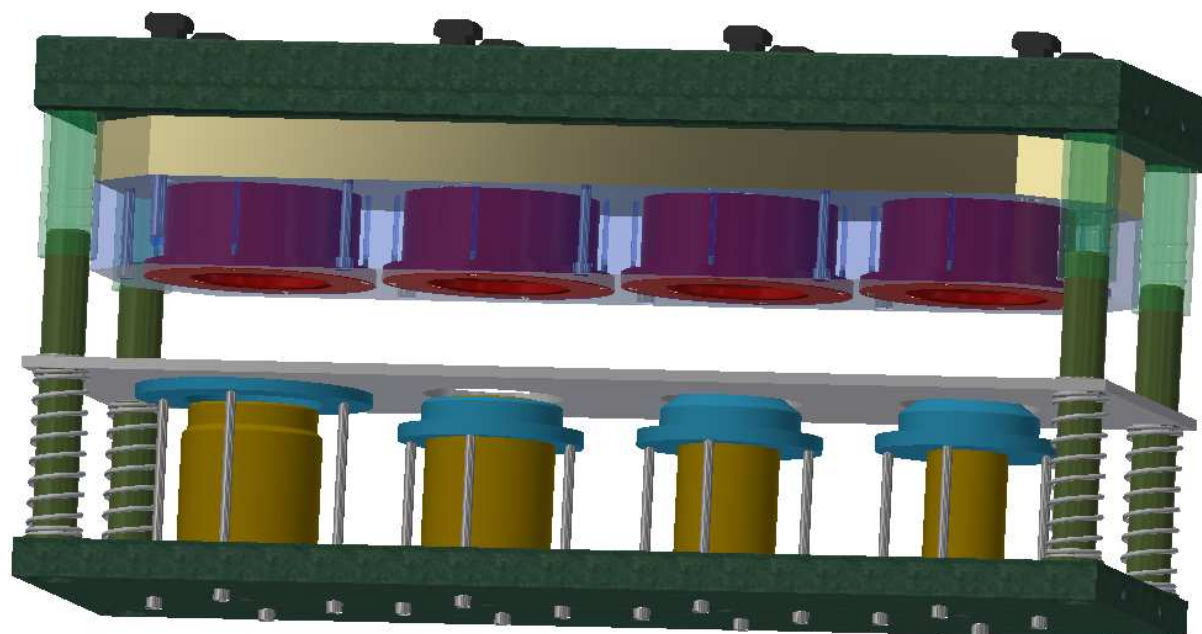
Mezi výhody hydraulického lisu patří nastavitelnost zdvihu a vyvození potřebné síly v každé poloze beranu. Beran lze v horní pozici zafixovat. Upínací plocha beranu i stolu je 1250 x 1600 mm, což je pro návrh nástroje dostačující. Další technické parametry lisu jsou v tab. 6. Na obr. 46 je vyobrazen lis ze stejné série, který je dispozičně menší.

Tab. 6 Základní technické parametry lisu CTH 400. [39]

Jmenovitá síla [kN]	4000
Zpětná síla [kN]	590
Sevřená výška [mm]	1000
Zdvih [mm]	1000
Rychlost přibližovací [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	400
Rychlost pracovní max [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	66
Rychlost pracovní min [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	16
Rychlost zpětná [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	469
Upínací plocha stolu [mm]	1250 x 1600
Upínací plocha beranu [mm]	1250 x 1600
Síla přidržovače [kN]	1250
Zdvih přidržovače [mm]	400
Síla horního vyhazovače [kN]	160
Zdvih horního vyhazovače [mm]	400
Výkon hlavního motoru [kW]	75
Půdorys lisu [mm]	4200 x 3400
Výška lisu [mm]	6500

3.6 Návrh nástroje [40], [41], [42]

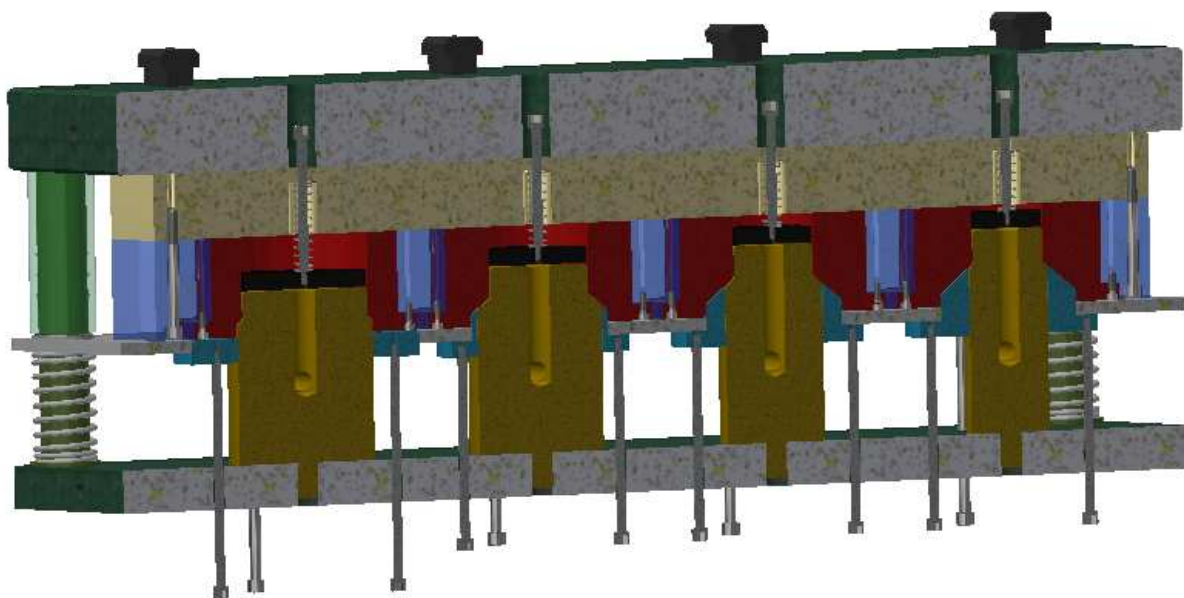
Návrh nástroje vychází z předchozích výpočtů, kde důležitým rozhodnutím je počet tahů. Jelikož je součást nutno táhnout na 4 tahy, je důležité se rozhodnout mezi čtyřmi menšími



Obr. 47 Rozevřený nástroj

nástroji pro každý tah nebo vytvořit sdružený nástroj. Nejdůležitější rozvahou v tomto případě je cena vyráběných nástrojů, vyšší pořizovací náklady na větší stroj a v neposlední řadě čas. Při návrhu je rozhodujícím faktorem čas, kde při použití sdruženého nástroje jsou během jednoho zdvihu beranu vykonány všechny 4 operace. Tato produktivita je při volbě rozhodující a z vysoká předčí vyšší nákladovost na větší stroj a nástroj. Větší velikosti stroje zaručují i jeho větší univerzálnost, která se ve firmě dá použít i na jiné operace.

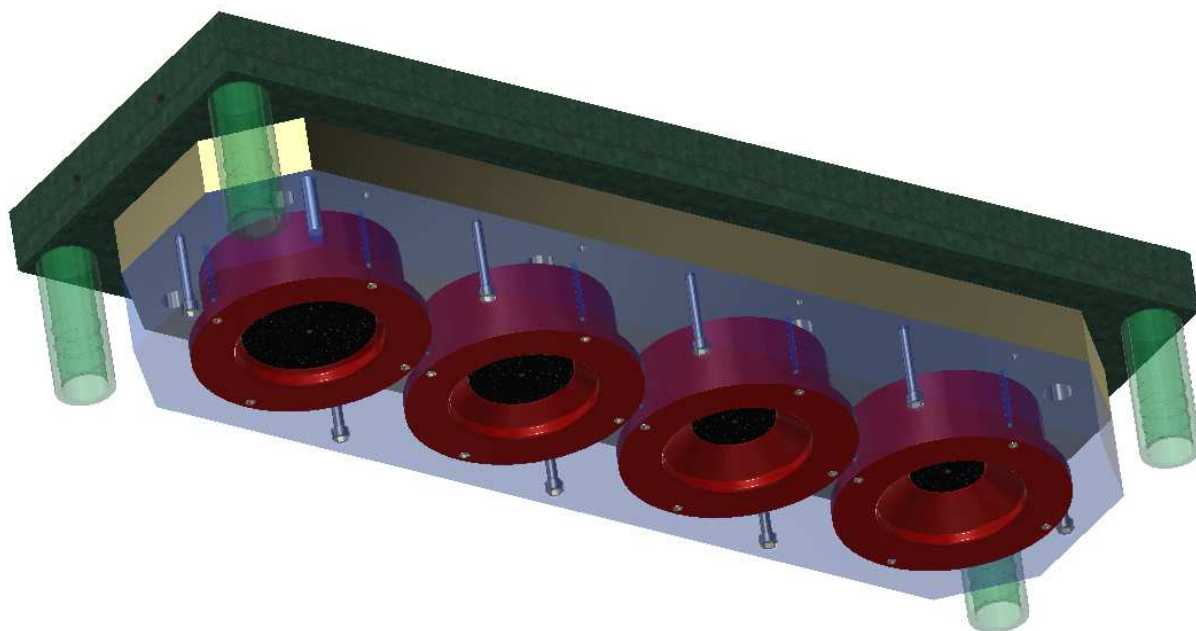
Nástroj je vytvořen jako postupový, složený ze 4 tažných operací jak je vidět na obr. 47. Takto složený nástroj vytvoří celou součást viz výkres 04-DP-152375-10 během jednoho zdvihu lisu. Tažidlo je z větší části vyrobeno z nenormalizovaných dílů vyráběných na zakázku. Desky použité v nástroji, lze koupit jako předpřipravený polotovár a následně jej upravit dle požadovaných parametrů. Dalším způsobem je výroba rovnou z hutních polotovarů. Obě dvě možnosti nemají na výsledné vlastnosti výrazný vliv, pokaždé musí být dodržen předepsaný materiál a jeho zpracování. Jediný rozdíl může být v ceně, kde je nutné předem rozhodnout, jestli se vyplatí vzít desky jako předpřipravené a následně udělat úpravy, a nebo je vytvořit od základu. Díly jako šrouby, kolíky, T matice, vodící sloupky, vodící pouzdra atd., jsou normalizované a běžně komerčně prodávány.



Obr. 48 Řez stlačeným nástrojem

Tažidlo je složeno ze tří částí, kde spodní základová deska je pevně připevněna ke stolu lisu. Prostřední deska je pohyblivá v závislosti na pohybu horní části nástroje. Prostřední deska slouží k zakládání výlisků a polotovaru na jednotlivé pozice a zároveň slouží jako stírač. Když výtažek ulpí na tažníku, tak při vyvinutí síly od všech 4 pružin je střední deska odtlačena od tažníků. Horní část je pohyblivá a je složena ze 3 desek, kde každá plní svou funkci. Horní a dolní část jsou vzájemně pohyblivě nezávislé. Uzavřený nástroj v polovičním řezu je vidět na obr. 48. V tomto úseku je potřeba provést kontrolu kolizních úseků. Ke kolizím může dojít u vodících sloupků, které nesmí být výš než horní deska nástroje. Dále se kontroluje dostatečná vzdálenost vodících sloupků přidržovačů. Přesné musí být také dosednutí tažníků do tažnic. Další kolize může nastat u delších vodících sloupků vyhazovačů, které také nesmí přesahovat přes horní desku nástroje, protože by docházelo ke střetnutí s beranem lisu. Další kontrola je u veškerých šroubových spojů, jestli někde nedochází ke kolizi.

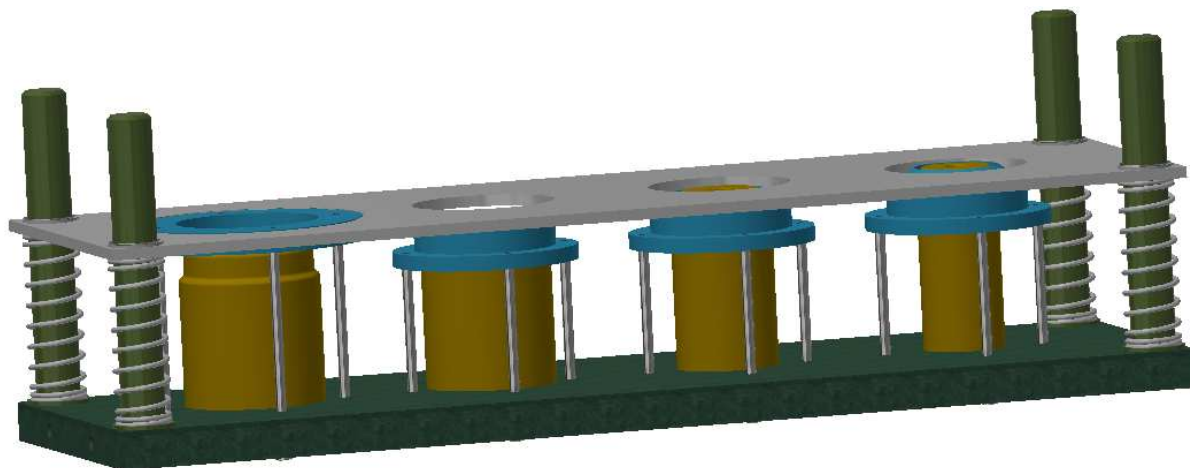
Pro manipulaci s nástrojem jsou ve spodní a horní desce připraveny ze strany otvory se závitem, které slouží k zašroubování přepravních ok, či jiných manipulačních prostředků.



Obr. 49 Horní část nástroje

Tento způsob je výhodný, protože při ukončení přepravy nástroje se manipulační elementy opět vyjmou a nezavazí ve stroji. Na obrázku je vidět, že k žádným kolizním stavům nedochází.

Horní část nástroje je vidět na obr. 49. Znázorněny jsou všechny 3 horní desky, kde všechny desky jsou navrženy z oceli 11 500. Ke spodní desce jsou pomocí 16 šroubů M8 uchyceny všechny čtyři tažnice. Deska má na tyto tažnice v sobě určené vybrání. Dále je deska uchycena ke střední desce pomocí osmi šroubů M14, které musí být zapuštěné, kvůli dosednutí tažnic. Ke střední desce je připevněna i horní deska opět pomocí osmi šroubů M14, které jsou také zapuštěny, aby nedošlo ke kolizi s beranem lisu. Celé složení je vystředěno pomocí dvou válcových kolíků o průměru 20 mm, které jsou ve dvou rozích v různých vzdálenostech, aby nedošlo k protočení jednotlivých desek. Jelikož hydraulický lis má upínací plochu beranu s T drážkami, tak je nutné k horní desce připevnit také T matice. Pro vyndání výtažku z tažnice je nástroj doplněn o vyhazovače, které vyvíjí sílu spolu se stlačením nástroje pomocí jednotlivých pružin. Všechny vyhazovače jsou navrženy z oceli 12 050.4. Posledním elementem v horní části jsou vodící pouzdra, která jsou připevněna ve všech rozích.



Obr. 50 Spodní část nástroje

Spodní část nástroje viz obr. 50 je pevně připevněna ke stolu lisu. Součástí je základní a vodící deska, které jsou navrženy z oceli 11 500. Vodicí deska leží na pružinách a jsou v ní připraveny vybrání k založení jednotlivých výliseků, pouze u prvního tahu je výlisek připraven v přidržovači, jelikož přidržuje i přírubu součásti. V rozích jsou vodící pouzdra, přes které prochází vodící sloupky, které jsou pevně uchyceny v základní desce. Základní deska drží všechny tažníky, které se o desku při tažení opírají. Základová deska má v sobě 16 děr, skrz které prochází vodítka přidržovačů. Díky tomuto přidržení je nutné stroj od výrobce doplnit o spodní přidržovače. Vodítka jsou spojena z tzv. „svíčkami,, stroje. Použít lze přidržovač jeden, který centrálně ovládá všechny čtyři přidržovače najednou, a nebo lze stroj doplnit o 4 přidržovače, kde bude každý ovládán samostatně. Celý nástroj je složen z několika činných částí:

- tažníky – jsou v nástroji použity čtyři viz obr. 51 a všechny jsou vyrobeny na zakázku. Všechny tažníky jsou navrženy z oceli 19 436.4. Pro dosažení vysoké tvrdosti povrchu jsou kaleny na 58 ± 2 HRC. Povrch tažníků lze také titanovat, avšak tato úprava je finančně

a časově náročná, a proto je tento způsob úpravy zavržen. pro plynulejší tažení je třeba funkční část tažníku leštit na $Ra 0,4$. Každý tažník má v sobě díru pro odvod vzduchu v případě stlačení nástroje a také pro přívod, když vzniká podtlak odtlačením nástroje. Průměry tažníků se zmenšují viz výpočet kapitola 3.1, kde poslední tažník má rovné čelo se zaoblením, které odpovídá zaoblení u dna výtažku. Jednotlivé rozměry a úpravy všech tažníků jsou vidět ve výkresové dokumentaci.

- tažnice – tvoří venkovní tvar výsledných výliseků ve všech 4 operacích. Všechny jsou opět vyrobeny na zakázku z materiálu 19 436.4 a jsou kaleny na tvrdost 58 ± 2 HRC.



Obr. 51 Tažníky pro 1. až 4. tah



Obr. 52 Tažnice pro 1. až 4. tah

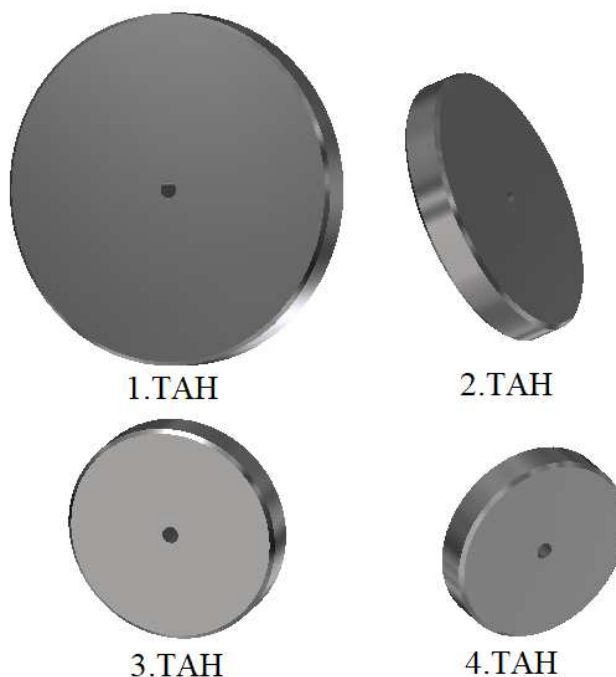
Jsou uchyceny v horní části nástroje a jsou osazeny, což při působení tlaku způsobí rozložení síly do horní desky. Pro plynulejší tažení je třeba leštit funkční část všech tažnic viz příložená výkresová dokumentace. Všechny tažnice mají funkční průměry zvětšeny o tažnou mezeru, která je v prvním tahu větší a v dalších tazích je zmenšená viz kapitola 3.3. Tažnice pro všechny tahy jsou vyobrazena na obr.52.

- přidržovače – slouží k přidržení plechu v době, kdy tažník vniká a tvaruje součást. Správné navržení zaručí správný průběh celého tažného procesu. Jelikož působí na plech určitou silou viz kapitola 3.3 je nutné ho dimenzovat tak, aby nedocházelo k otlacení. Proto jsou všechny přidržovače navrženy z nástrojové oceli 19 436.4, která je kvůli otlacení kalena na přibližně 58 HRC. Síla na přidržovač je vyvozena pomocí přidáných přidržovacích jednotek umístěných ve spodu lisovacího stroje. Přidržovače pro všechny tahy jsou vidět na obr. 53.



Obr. 53 Přidržovače pro 1. až 4. tah

- vyhazovače – jsou umístěny v horní části nástroje přímo v tažnici. Jejich průměr je menší než průměr otvoru v tažnici. Materiál určený pro vyhazovače je uhlíková ocel 12050.4, která je zakalena na přibližnou tvrdost 56 HRC. Jejich síla je vyvinuta od pružin. Pro tento případ jsou použity nenormalizované vyhazovače, a proto je nutná jejich výroba. Chyceny jsou vodítkama vyhazovačů, které jsou uchyceny pomocí závitu M10. Vyhazovače se zmenšujícím se průměrem jsou vidět na obrázku 54.



Obr. 54 Vyhazovače pro 1. až 4. tah

Dalším nezbytným návrhem jsou komerčně prodávané součásti, které se používají při návrhu celého nástroje. Mezi tyto prvky patří:

- matice do T drážky – slouží ke spojení horní desky k upínací ploše beranu. Při použití matic je nutná synchronizace s konstruktéry, kteří navrhují výrobní stroj. Zaprvé je nutné zohlednit rozteč a dále také tvar matic. Vzhledem k vyšší váze nástroje byly navrženy matice dle normy DIN 508 se závitem M24 v počtu osmi kusů. Materiálem matic je zušlechťená ocel jakosti 10 s černou povrchovou úpravou. T matice je znázorněna na obr. 53.



Obr. 53 Matice do T drážky [40]

- vodící sloupky – jsou použity z produkce firmy FIBRO podle normy ISO 9182-2 o průměru 60 mm a délce 450 mm. Tyto sloupky jsou superfinišované s tvrdostí povrchu 60+3 HRC. Pro všechny 4 rohy nástroje je použit stejný průměr vodících sloupků, a proto je nutné spodní a horní část nástroje v jednom rohu označit, aby nedošlo k otočení nástroje. Ukázka sloupku je vidět na obr. 54.
- vodící pouzdra – jsou nalisována nebo připevněna šrouby v horní desce nástroje a také ve vodící desce. Přesnější způsob vedení zaručují kuličková vedení, avšak díky vyšší pořizovací ceně není tento typ uvažován, a proto jsou použity dva typy vodících pouzder podle normy ISO 9448, které zaručují dlouhodobé mazání díky jejich povrchové úpravě.



Obr. 54 Vodící sloupek [41]

Celý průběh tažné operace se dá shrnout do několika kroků. V prvním kroku obsluha stroje ustaví polotovar do vybrání v přidržovači v prvním tahu. Následuje spuštění tažné operace a přesunutí výtažku z první operace do druhé a založení znovu nového polotovaru a celá operace se opakuje až do té doby, kdy obsluha konečný výtažek přesouvá do bedny s hotovými výlisky. Následně už obsluha pouze posouvá výlisky z jednotlivých tahů do dalších a přidává polotovar na první operaci. Celý tento proces lze automatizovat, kdy by se nástroj doplnil o počáteční stříhání ze svitku plechu. Automat by posouval výlisky z jednotlivých operací sám. Avšak tato metoda se používá u velkých sérií, kvůli velkým finančním vstupům.

Pro zlepšení průběhu tvářecí operace, snížení zmetkovitosti a především zvýšení životnosti nástroje je nezbytné výběr vhodného maziva. Mazivo při tažení vytváří film na povrchu součásti a zabraňuje přímému styku taženého materiálu s tažnicí. Jako mazivo pro tažení za studena se používají kapalné druhy. V tomto případě je jako vhodný zvolen typ Moralub KFP 68, vyráběný firmou MOLYDUVAL viz příloha 3. Nízko vysokozní mazivo bude na polotovar nanášeno ze strany tažnice pomocí válečků.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [43], [44], [45], [46], [47], [48]

Ekonomické zhodnocení je zpracováno pouze pro součást anemostatu. Kvůli chybějícím údajům o zbytku výroby anemostatu budou tyto části spočítané pouze orientačně. Pro neznalost ceny hydraulického stroje CTH 400 se předpokládá, že stroj je již zaplacen a účetně odepsán. Kvůli neznalosti nákladů na opravy strojů, vytápění, manipulaci, logistiku, osvětlení, cenu prostorů, platy THP pracovníků a jiné pohledávky nebudou tyto údaje zahrnuty. Jmenované výdaje budou odhadnuty ve výrobní a správní režii.

Celková roční série je zvolena na 15 000 ks/rok. Během výrobního procesu dochází k určité zmetkovitosti, která se uvažuje okolo 2% z celkové výrobní série. Všechny náklady jdou rozdělit na jednotlivé úseky:

- náklady na materiál – zohledněn je nejvýhodnější postup uspořádání přístřihu viz kapitola 3.2 na tabuli plechu 2500 x 1250 mm o tloušťce 1 mm z hlubokotažné oceli DC04. Celkový počet přístřihů, které se na tabuli plechu vmístí je 32 ks. Cena jedné tabule je dodavatele hutního materiálu NYPRO 530 Kč bez DPH.

Počet kusů za rok se vypočte:

$$n_s = n_{sp} \cdot 1,02 = 15000 \cdot 1,02 = 15300 \text{ ks} \quad (4.1)$$

kde: n_s ... celkový počet kusů za rok [ks]

n_{sp} ... předpokládaný počet kusů za rok bez zmetkovitosti [ks]

Počet tabulí potřebných na roční sérii:

$$n_t = \frac{n_s}{i_v} = \frac{15300}{32} = 479 \text{ ks} \quad (4.2)$$

kde: i_v ... celkový počet přístřihů na jedné tabuli [ks]

n_t ... roční potřeba plechu 2500 x 1250 mm [ks]

Celkový roční přísun tabulí je spočten na hodnotu 479 ks.

Hmotnost z odpadu z jedné tabule plechu:

$$m_{od} = m_{tab} - m_{tab} \cdot \frac{\mu}{100} = 25 - 25 \cdot \frac{74,32}{100} = 6,4 \text{ kg} \quad (4.3)$$

kde: m_{od} ... hmotnost odpadu z jedné tabule [kg]

m_{tab} ... hmotnost jedné tabule plechu [kg]

Hmotnost odpadu z jedné tabule je 6,4 kg. Firma HULMAN kovošrot vykupuje tento plech v ceně 2,60 Kč/kg. Cena odpadu se vypočte následně:

$$C_{od} = m_{od} \cdot C_{oš} = 6,4 \cdot 2,6 = 16,64 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

kde: C_{od} ... cena odpadu z jedné tabule [Kč]

$C_{oš}$... cena výkupu odpadu [Kč/kg]

Celková cena tabule snižená o cenu výkupu odpadu:

$$C_{ct} = C_t - C_{od} = 530 - 16,64 = 513,36 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

kde: C_{ct} ... cena jedné tabule po odečtení odpadu [Kč]

C_t ... cena jedné tabule od firmy Nypro [Kč]

Celková cena materiálu na roční sérii:

(4.6)

$$C_c = n_t \cdot C_{ct} = 479 \cdot 513,36 = 245\,900 \text{ Kč}$$

kde: C_c ... cena materiálu na roční sérii [Kč]

Celkové náklady na roční materiál byly zaokrouhleny na 245 900 Kč.

- Náklady na stroje – v tomto úseku budou zahrnuty pouze náklady na elektrickou energii, kterou stroj během pracovního cyklu spotřebuje. Aktuální průměrná cena elektřiny je 4,34 Kč za 1 kWh. Jelikož je třeba zhodnotit i jinou metodu získání polotovaru než v kooperaci, budou energie spočítané pro případ použití výstředníkového lisu formou stříhání. Pro výstředníkový lis je nutné tabuli plechu nastříhat na pásy, proto tuto kalkulaci doplní i stříhání pásů.

- a) Tvorba pásu plechu na elektrických tabulových nůžkách MTBS, které firma vlastní a jejich příkon je 4 kW. Elektrické nůžky dokážou vytvořit až 35 stříhů za minutu.

Čas potřebný pro nastříhání 4 pásů z jedné tabule plechu:

$$t_{s1} = \frac{60}{n_{z1}} \cdot (n_p - 1) + t_{p1} = \frac{60}{35} \cdot (4 - 1) + 15 = 21 \text{ s} \quad (4.7)$$

kde: t_{s1} ... výrobní čas pro tabulové nůžky v jedné operaci dělníka [s]

n_{z1} ... počet možných stříhů stroje [min^{-1}]

t_{p1} ... čas dělníka potřebný pro manipulaci s materiálem [s]

Čas, který je zapotřebí pro celou sérii na tabulových nůžkách:

$$t_{v1} = \frac{t_{s1} \cdot n_t}{3600} = \frac{21 \cdot 479}{3600} = 2,79 \text{ h} \quad (4.8)$$

kde: t_{v1} ... celkový čas na nastříhání pásů na roční sérii [h]

Celkový čas spotřebovaný na vystříhání pásů plechu je zaokrouhlen na 3 hod.

Cena spotřebované elektrické energie za dobu provozu stroje:

$$C_{e1} = P_1 \cdot t_{v1} \cdot C_e = 4 \cdot 3 \cdot 4,34 = 52,08 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

kde: C_{e1} ... cena spotřebované energie na tabulových nůžkách [Kč]

P_1 ... příkon tabulových nůžek [kW]

C_e ... průměrná cena elektřiny [Kč/kWh]

- b) Vystřížení polotovaru na výstředníkovém lisu LEU 100 od firmy Šmeral. Tento lis má výkon motoru 20 kW a počet zdvihů 45 za minutu.

Čas potřebný na vystřížení osmi polotovarů z jednoho pásu plechu:

$$t_{s2} = \frac{60}{n_{z2}} \cdot i_{p1} + t_{p2} = \frac{60}{45} \cdot 8 + 35 = 45,67 \text{ s} \quad (4.10)$$

kde: t_{s2} ... čas na vystřížení osmi kusů polotovaru [s]

i_{p1} ... počet polotovarů na jednom pásu [-]

n_{z2} ... počet zdvihů strojů [min^{-1}]

t_{p2} ... čas dělníka potřebný pro manipulaci s plechem [s]

Výsledný čas na vystřížení osmi polotovarů je zaokrouhlen na 46 s.

Čas pro vytvoření polotovaru pro celou sérii:

$$(4.11)$$

$$t_{v2} = \frac{t_{s2} \cdot n_s}{3600 \cdot i_p} = \frac{46 \cdot 15300}{3600 \cdot 8} = 24,44 \text{ h}$$

kde: t_{v2} ... čas potřebný na vystřížení celé série na výstředníkovém lisu [s]

Celkový čas na vystřížení na výstředníkovém lisu je zaokrouhlen na 25 h.

Z důvodu neznalosti příkonu nebo účinnosti výstředníkového lisu je cena spotřebované energie spočítaná pomocí výkonu. Odchylka bude pokryta v nepřímých nákladech na výrobu.

Cena elektrické energie na výstředníkovém lisu:

$$C_{e2} = P_2 \cdot t_{v2} \cdot C_e = 20 \cdot 25 \cdot 4,34 = 2170,00 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

kde: P_2 ... výkon výstředníkového lisu [kW]

Celková cena energií na vystřížení na výstředníkovém lisu je 2170 Kč.

- c) Tažení součásti anemostatu na stroji CTH 400 od firmy ŽDAS. Tento lis má výkon motoru 75 kW. Ostatní parametry jsou k nalezení v tabulce 6.

Čas pro vytažení jednoho dílu:

$$t_{s3} = \frac{h_{l1}}{v_{pr}} + \frac{h_{l2}}{v_p} + \frac{h_{l3}}{v_z} + t_{p3} = \frac{130}{400} + \frac{96}{50} + \frac{226}{469} + 12 = 14,73 \text{ s} \quad (4.13)$$

kde: v_{pr}, v_p, v_z ... pracovní rychlosti stroje [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

h_{l1}, h_{l2}, h_{l3} ... vzdálenosti, které urazí beran lisu [mm]

t_{p3} ... čas obsluhy tažidla v jedné operaci [s]

Čas na vytvoření jedné součásti je 15 s. Čas pro vytvoření celé série se vypočte:

$$t_{v3} = \frac{t_{s3} \cdot n_s}{3600} = \frac{15 \cdot 15300}{3600} = 63,75 \text{ h} \quad (4.14)$$

kde: t_{v3} ... čas potřebný na vytažení celé série [h]

Celkový čas na vytažení celé série je 64 h. Protože opět není znám příkon lisu, je pro vypočtení ceny energií využit výkon lisu:

$$C_{e3} = P_3 \cdot t_{v3} \cdot C_e = 75 \cdot 64 \cdot 4,34 = 20\,832,00 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

- d) Ostřížení příruby a prostřížení dna v hydraulickém lisu CTH 400. Čas potřebný na tyto dva úkony byl stanoven stejně jako při tažení výtažku a to $t_{v4}=64$ h. Cena na energie vynaložené na tyto 2 operace je tedy stejná jako pro tažení $C_{e4}=20\,832$ Kč.

Náklady vynaložené na energie strojů jsou součtem všech dílčích operací:

$$C_{ec} = C_{e1} + C_{e2} + C_{e3} + C_{e4} = 52,08 + 2170 + 20832 + 20832 = 43\,887 \text{ Kč}$$

Vynaložené finance na elektrickou energii ze všech strojů jsou 43 887 Kč.

- Náklady na mzdy – při vyhodnocení mzdy pracovníka bude postupováno podle průměrné měsíční mzdy montážního dělníka v České republice. Průměrný měsíční plat dělnického zařazení k 17. květnu je 19 517 Kč hrubého. Měsíc má průměrně 21 pracovních dní. Při jednosměnném provozu je zaměstnanec v práci 8 hodin.

Tyto hodnoty odpovídají hrubé mzdě 117 Kč za hodinu práce zaměstnance. Zaměstnavatele stojí hodina práce 157 Kč.

a) Proplacený čas na vytvoření pásů plechu:

$$C_{d1} = t_{v1} \cdot C_h = 3 \cdot 157 = 471 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

kde: C_h ... cena jedné hodiny pro zaměstnavatele [Kč]

C_{d1} ... cena zaměstnance na vystřižení pásů plechu [Kč]

Za práci provedenou na tabulových nůžkách bude vyplaceno 471 Kč.

b) Proplacený čas na vystřižení polotovaru:

$$C_{d2} = t_{v2} \cdot C_h = 25 \cdot 157 = 3\,925 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

kde: C_{d2} ... částka vyplacená za vystřižení polotovaru [Kč]

Práce na výstředníkovém lisu bude zaměstnavatele stát 3 925 Kč.

c) Proplacený čas na tažení součásti:

$$C_{d3} = t_{v3} \cdot C_h = 64 \cdot 157 = 10\,048 \text{ Kč} \quad (4.18)$$

kde: C_{d3} ... částka vyplacená za vytažení součásti [Kč]

Práce na vytažení součásti bude zaměstnavatele stát 10 048 Kč.

d) Proplacený čas na ostřížení příruby a prostřížení dna:

$$C_{d3} = t_{v3} \cdot C_h = 64 \cdot 157 = 10\,048 \text{ Kč} \quad (4.19)$$

kde: C_{d3} ... částka vyplacená za ostřížení a prostřížení [Kč]

Práce na ostřížení příruby a prostřížení dna je 10 048 Kč.

Celkové náklady na mzdy zaměstnanců se určí jako součet všech dílčích nákladů:

$$C_{dc} = C_{d1} + C_{d2} + C_{d3} + C_{d4} \quad (4.20)$$

$$C_{dc} = 471 + 3\,925 + 10\,048 + 10\,048 = 24\,492 \text{ Kč}$$

kde: C_{dc} ... celkové náklady na mzdy [Kč]

Náklady na mzdy výrobních dělníků při výrobě součásti anemostatu budou 24 492 Kč.

- Cena nástrojů – místní menší nástrojovnou byla odhadnuta výrobní cena tažného nástroje na 420 000 Kč a střížného na 150 000 Kč. Předpokládaná cena nástroje na ostřížení příruby a prostřížení dna je 300 000 Kč. Celková pořizovací cena nástrojů je tedy:

$$C_n = 420\,000 + 150\,000 + 300\,000 = 870\,000 \text{ Kč} \quad (4.21)$$

kde: C_n ... celková cena na pořízení nástrojů [Kč]

Pořizovací cena na všechny nástroje, které vyrobí celou sérií je 870 000 Kč.

Náklady na střížný nástroj, který vystřihuje polotovar součásti, jsou poměrně vysoké, a proto je nutné propočíst původní záměr získání polotovaru v kooperaci jednou z metod řezání. Firma EGE, spol. s.r.o nabízí plazmové řezání, kde metr řezu při sérii 15 000 ks stojí 42 Kč včetně DPH. V této ceně jsou zahrnuty veškeré

provozní náklady na stroj a zaměstnance. Cena na výrobu polotovaru v kooperaci tedy vyjde:

$$C_{pk} = \frac{C_k \cdot \pi \cdot D_p \cdot 10^{-3}}{1,21} = \frac{42 \cdot \pi \cdot 304 \cdot 10^{-3}}{1,21} = 33,15 \text{ Kč} \quad (4.22)$$

kde: C_{pk} ... cena za získání polotovaru v kooperaci [Kč]

C_k ... cena jednoho metru řezu v kooperaci [$\text{Kč} \cdot \text{m}^{-1}$]

Cena za polotovar vytvořený firmou v kooperaci je 33,15 Kč bez DPH.

Nyní je potřeba získat variabilní náklady na výrobu součásti stříháním:

$$VN_s = (C_{e1} + C_{e2} + C_{d1} + C_{d2}) \cdot 6,3 \quad (4.23)$$

$$VN_s = (52 + 2170 + 471 + 3925) \cdot 6,3 = 41\,693,4 \text{ Kč}$$

Variabilní náklady na vystřížení polotovaru pro sérii 15 300 kusů jsou 41 693,4 Kč.

Celkové náklady zahrnují i cenu nástroje:

$$CN_{ss} = VN_s + C_{ns} = 41\,693,4 + 150\,000 = 191\,693,4 \text{ Kč} \quad (4.24)$$

kde: CN_{ss} ... celkové náklady na střižný nástroj [Kč]

C_{ns} ... náklady na střižný nástroj [Kč]

Z celkových nákladů na střižný nástroj lze stanovit cenu jednoho kusu a poté ji porovnat s cenou v kooperaci:

$$C_{ps} = \frac{CN_s}{n_s} = \frac{191\,693,4}{15\,300} = 12,53 \text{ Kč} \quad (4.25)$$

Pomocí vlastního stříhání vyjdou náklady na jeden kus 12,53 Kč, což je oproti kooperaci o 20,62 Kč levnější. Tento rozdíl je jednoznačný, a proto je zvolena metoda získání polotovaru pomocí střižného nástroje. Při celkové roční sérii se tímto ušetří 315 486 Kč oproti kooperaci.

- Celkové přímé náklady na výrobu součásti anemostatu se vypočtou jako:

$$PN = C_{ec} + C_{dc} = 43\,887 + 24\,492 = 68\,379 \text{ Kč} \quad (4.26)$$

kde: PN... celkové přímé náklady [Kč]

Celkové přímé náklady činí 68 379 Kč.

- Celkové nepřímé náklady – hodnota, jenž zahrnuje celkový chod firmy. Nepřímé náklady se mohou určit z nákladů přímých a to procentuálním vyjádřením přidané hodnoty v závislosti výrobku vůči celé roční sérii. Skládají se z výrobní režie a správní režie kde výrobní režie je stanovena jako 410% a správní režie jako 120% z celkových přímých nákladů. Tímto způsobem se určí nepřímé náklady:

$$NN = PN \cdot \frac{(VR+SR)}{100} = 68\,379 \cdot \frac{(410+120)}{100} = 362\,408,7 \text{ Kč} \quad (4.27)$$

kde: NN... celkové nepřímé náklady [Kč]

VR... výrobní režie stanovená procentuálně vůči PN [%]

SR... správní režie stanovená procentuálně vůči PN [%]

Celkové nepřímé náklady na výrobu jsou 362 409 Kč.

- Variabilní náklady – jsou složeny z přímých a nepřímých nákladů:

$$VN = PN + NN = 68\,379 + 362\,409 = 430\,788 \text{ Kč} \quad (4.28)$$

Variabilní náklady na výrobu série byly stanoveny na 430 788 Kč. Je důležité znát variabilní náklady na jeden výrobek:

$$VN_s = \frac{VN}{n_{sp}} = \frac{430\,788}{15\,000} = 28,72 \text{ Kč} \quad (4.29)$$

Variabilní náklady na jednu součást jsou 29 Kč.

- Celkové náklady - jsou složeny z variabilních nákladů a nákladů na použité nástroje během celé výroby:

$$CN = VN + C_n = 430\,788 + 870\,000 = 1\,300\,788 \text{ Kč} \quad (4.30)$$

Z celkových nákladů na výrobní sérii, které činí 1 300 788, lze získat potřebnou částku na výrobu jednoho kusu:

$$CN_s = \frac{CN}{n_{sp}} = \frac{1\,300\,788}{15\,000} = 86,72 \text{ Kč} \quad (4.31)$$

kde: CN_s ... výrobní cena jednoho kusu [Kč]

Výrobní cena jednoho kusu je stanovena na 87 Kč. Jelikož chceme zjistit prodejní cenu, která je povýšená o zisk firmy, tak je nutné tuto hodnotu ještě navýšit o zisk 100%.

- Prodejní cena výrobku – cena navýšená o 100% zisk:

$$PRN_s = CN_s \cdot 2 = 87 \cdot 2 = 174 \text{ Kč} \quad (4.32)$$

Celková cena výrobku je stanovena na 174 Kč. Pro získání celkového obratu při roční sérii je nutno tuto částku ještě roznásobit sérií:

$$C_o = 174 \cdot 15\,000 = 2\,610\,000 \text{ Kč} \quad (4.33)$$

- Bod zvratu – slouží pro zjištění ziskovosti firmy. V tomto bodě jsou zaplacený veškeré náklady spojené s výrobou:

$$BZ = \frac{C_n}{PRN_s - VN_s} = \frac{870\,000}{174 - 29} = 6000 \text{ ks} \quad (4.34)$$

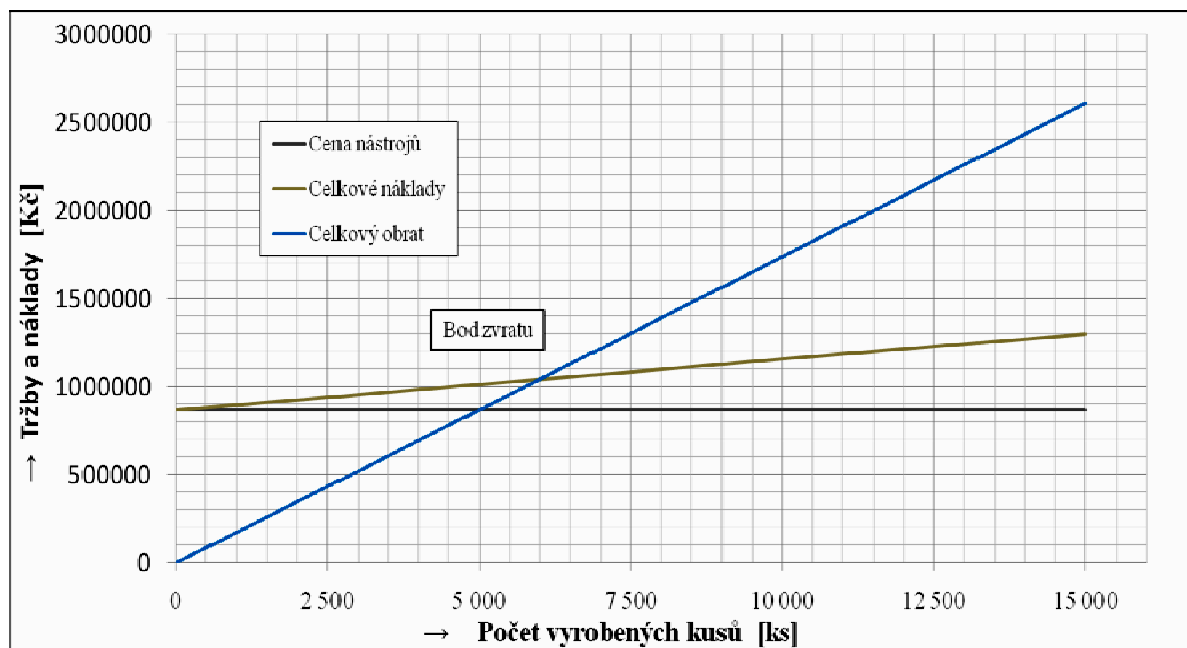
Výsledkem je bod zvratu, ke kterému dochází při 6000 vyrobených kusech viz obr. 55

- Zisk výroby – pro zhotovenou sérii je zisk:

$$ZV_1 = n_{sp} \cdot (PRN_s - CN_s) = 15000 \cdot (174 - 87) = 1\,305\,000 \text{ Kč} \quad (4.35)$$

Zisk v prvním roce výroby je 1 305 000 Kč.

Je nutné vzít v potaz, že v kalkulaci nebyly uvedeny ceny na nákup strojů, kde byl předpoklad, že firma stroje už vlastní a jsou odepsané. Jelikož je to pouze součást anemostatu bez přivaření držáků a dalších komponent, které kompletují celý anemostat. Celková cena celého anemostatu je 1 074 Kč. Součást, kterou se práce zabývá lze konkurencí ohodnotit na polovinu celkové prodejní ceny na internetu. V tomto případě by prodejní cena součásti byla kolem 537 Kč. Díky tomuto faktu lze navýšit zisk.



Obr. 54 Bod zvratu

5 ZÁVĚRY

Řešenou součástí je anemostat, který slouží jako přívodní nebo odvodní element vzduchotechnické sestavy. Z uvažovaných technologií výroby byla, vzhledem k tvaru součásti a počtu kusů 15 000, vybrána technologie tažení bez ztenčení stěny. Vstupním materiálem pro výrobu byl zvolen materiál s dostatečnými plastickými vlastnostmi. Tento předpoklad splňuje uklidněná ocel DC04 o tloušťce 1 mm.

Anemostat bude vyráběn z přístřihu plechu o průměru 304 mm, který je už navýšen o přídavek na ostřížení. Vzhledem ke kuželové části výtažku bylo nutné přizpůsobit technologii tažení. Výsledkem je postupový nástroj, jenž obsahuje 4 tažidla. V každé tažné operaci je tažena část kuželové plochy a odstupňována válcová část, aby se dosáhlo výsledného průměru 98 mm. Ostřížení příruby a prostřížení dna nástroj neobsahuje. Tyto metody byly vyhodnoceny v ekonomické části. Nástroj je doplněn v každém tahu o přidržovač a vyhazovač. Výsledná síla potřebná na vytažení všech 4 operací byla stanovena na 594 kN. Při výběru stroje byly rozhodující rozměry pracovního prostoru, jelikož nástroj je díky 4 tahům poměrně rozměrný. Byl navržen lis o jmenovité síle 4 000 kN s označením CTH 400 od firmy ŽDAS.

Původní záměr získání polotovaru v kooperaci byl následně v technicko-ekonomické části zavrhnut kvůli ceně řezu v jiných firmách, proto byl navržen postup rozdělení tabule plechu o rozměrech 2500 x 1250 mm na pásy a následně na výstředníkovém lise vystříženy kruhové přístřihy ve vlastní firmě. Touto metodou bylo ušetřeno 315 486 Kč při výrobě celé série.

V technickém hodnocení je výroba shledána jako proveditelná. V ekonomické části jsou zahrnuty náklad na mzdy pracovních dělníků, energetický provoz strojů a náklady na nástroje. Zbýlé bylo zahrnuto do výrobních a správních režii. Z výše uvedených byla stanovena cena jednoho vyráběného dílu na 174 Kč, avšak tato cena nezahrnuje další úpravy sloužící ke kompletaci celého anemostatu a pořizovací cenu na veškeré stroje. Celková cena za anemostat udávaná na internetu činí 1074 Kč, díky čemuž lze rozhodnout, že výroba je proveditelná s ročním ziskem 1 305 000 Kč.

Vzhledem k ceně anemostatu by bylo možné počítat s větším ziskem a do nákladů propočíst pořizovací cenu strojů a další části anemostatu, což vzhledem k času bude dopracováno v dalších studiích.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [52]

1. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. : il. ISBN 80-214-2683-7.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-4747-9.
3. *BOWL KITCHEN SINK* [online]. USA: American Standard, 2014 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <https://www.americanstandard-us.com/kitchens/kitchen-sinks/prevoir-stainless-steel-drop-in-25-14-inch-by-22-inch-1-bowl-kitchen-sink-22380>
4. *POT* [online]. USA: Best Value Vacs, 2013 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.bestvaluevacs.com/3-gallon-wide-stainless-steel-pot-only.html>
5. *Car door* [online]. Ulricehamn: AP&T, 2015 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.aptgroupp.com/company/news/apt-eu-project-low-cost-forming-lightweight-structures-transportation-industries>
6. *ALUMINIUM LIGHT* [online]. Shandong: Wotech Industrial Co., 2008 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/Wotech-OEM-aluminum-deep-drawing-the_60199866366.html
7. *ANEMOSTAT* [online]. Polsko: Kwasek, 2014 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.kwasek.pl/pl/p/Anemostat-metalowy-nawiewny-fi-250-Dospel/6672>
8. *ANEMOSTAT LAMELOVÝ KRUHOVÝ* [online]. Hostomice: Mandík, 2016 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.mandik.cz/produktova-rada/distribucni-elementy/anemostaty/alkm>
9. *DRE-C* [online]. Barcelona: Soler&Palau, 2017 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/dre-c-100-kruhovy-anemostat-s-nastavitelnym-kuzelem>
10. *DC04* [online]. Karlštejn: Pásová ocel, 2017 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: http://www.pasovaocel.cz/vyro_kla.htm
11. *METAL SPINNING* [online]. Monroe: Engineers Edge, 2010 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.engineersedge.com/manufacturing/spinning-metal.htm>
12. *CUTTING SHEET METAL* [online]. USA: Sheet metal, 2015 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/how-to-cut-sheet-metal/>
13. *MARFORM* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2003 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
14. *HYDROFORM* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2003 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
15. PÁSEK, Vladimír. *Pokrokové způsoby tváření*. Praha: SNTL, 1964, 204 s.
16. *HYDROMECHANICKÉ TAŽENÍ* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2003 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
17. *DEEP DRAWING* [online]. USA: MachineMfg, 2017 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://machinemfg.com/sheet-metal-forming-processes-equipment/>
18. SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření. Část I*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 134 s. : il. ISBN 978-80-214-4220-7.

19. LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. Liberec, 2009. Dostupné také z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htm. Skripta. Technická univerzita v Liberci.
20. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
21. ČADA, Radek. *Postupy údržby* [online]. Ostrava: VŠB, 2007 [cit. 2019-05-07]. ISBN 978-80-248-1506-0. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PU1/Postupy-udrzby-I.pdf>
22. DOUBRAVSKÝ, Miroslav. *Vybrané statě z tváření III.: Ohýbání a tažení plechů*. Brno: VUT, 1971. ISBN 55-637-71.
23. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00221-4.
24. KOTOUČ, Jiří a Jan ČERMÁK. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01003-1.
25. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
26. *Deep Drawing Flange Wrinkles* [online]. Sweden: AgmellFEM, 2016 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=S-8ucy9CeqE>
27. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
28. HENRIQUES, Marisa P., Ricardo J. ALVES DE SOUSA a Robertt A. F. VALENTE. Numerical simulation of wrinkling deformation in sheet metal forming. *Researchgate* [online]. Lisabon: EUROMECH Solid Mechanics Conference, 2009, 12 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/268178492_NUMERICAL_SIMULATION_OF_WRINKLING_DEFORMATION_IN_SHEET_METAL_FORMING
29. VALBERG, Henry s. Sheet-Metal Forming. *Applied Metal Forming*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010, s. 435-452. DOI: 10.1017/CBO9780511801907.026. ISBN 9780511801907.
30. *Hluboké tažení* [online]. Praha: ČVUT, 2011 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>
31. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení* [online]. Brno, 2002 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobnni_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf. Studijní opora. VUT.
32. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení* [online]. Praha, 2007 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobnni-stroje-a-zarizeni.html>. Poznámky k přednáškám. ČVUT.
33. *Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů* [online]. Plzeň: MM spektrum, 2008 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/centrum-vyzkumu-konstrukce-tvarecich-stroju.html>
34. FIEBIG, Wieslaw a Jakub WRÓBEL. *Use of mechanical resonance in impact machines* [online]. Wrocław, 2018 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328194389_Use_of_mechanical_resonance_in_impact_machines. Research. Wrocław University of Science and Technology.

35. *Fosfátování* [online]. České Budějovice: Technicoat, 1999 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: https://www.technicoat.cz/cs/nase-kompetence/fosfatovani/?gclid=EAIaIQobChMIxNOdi6fV4QIVluJ3Ch1LFQGeEAAYA SAAEgL-m_D_BwE
36. *Lubrication regimes* [online]. Be'er Sheva Area, Israel: Smooth Sliding, 2019 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=lubrication_regimes
37. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W- Výrobky se slinovaných prášků, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z- Protikorozi ochrana materiálu*. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-054-2.
38. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983.
39. *Hydraulické lisy* [online]. Žďár nad Sázavou: ŽDAS, 2010 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.industry-eu.cz/files/companies/890388.pdf>
40. *T matice* [online]. Brno: Kipp, 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ovládací-prvky-normované-díly/Části-strojů-části-přípravků/K0377-Matice-do-T-drážky.html>
41. *D vodící prvky* [online]. Brno: Fibro, 2016 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://gore.cz/index.php/21-esky-katalog-2010/kapitoly/41-d-vodici-prvky>
42. *Moralub* [online]. Ratingen: Molyduval, 2013 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.molyduval.com/index.php?module=products&index>
43. *Hutní materiál* [online]. Praha: Nypro, 2015 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://nyprohutni.cz/valcovane-za-studena>
44. *Kovošrot* [online]. Pohořelice: Hulman, 2009 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.hulman-kvosrot.cz/nase-ceny/>
45. *Energie* [online]. Praha: energie123, 2011 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
46. *Výstředníkové lisy* [online]. Brno: Web147, 2017 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/vystrednikove_lisy.html
47. *Platy montážních dělníků* [online]. Praha: Indeed, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://cz.indeed.com/salaries/Montážní-Dělník-Salaries>
48. *Superhrubá mzda* [online]. Praha: Finance, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/zpravy/finance/445479-co-je-dobre-vedet-o-superhrube-mzde/>
49. TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes, machines, tools*. Berlin: Springer, 2006. ISBN 3-540-33216-2.
50. MARCINIAK, Zdzisław. *Teorie tváření plechů*. Praha: SNTL, 1964.
51. *Návody do cvičení* [online]. Brno: VUT, 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/hta_teorie_tvareni_navody_do_cviceni_2018a_forejt.pdf
52. *Generátor citací* [online]. Citace Pro, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A,B	rozměry tabule	[mm]
A ₈₀	tažnost	[%]
A _t	tažná práce	[kJ]
BZ	bod zvratu	[ks]
c	konstanta závislá na druhu taženého materiálu	[-]
C	koeficient tažné práce	[-]
C _c	cena materiálu na roční sérii	[Kč]
C _{ct}	cena jedné tabule po odečtení odpadu	[Kč]
C _{d1}	cena zaměstnance na vystřižení pásů plechu	[Kč]
C _{d2}	částka vyplacená za vystřižení polotovaru	[Kč]
C _{d3}	částka vyplacená za vytažení součásti	[Kč]
C _{d4}	částka vyplacená za ostřížení příruby a prostřížení dna	[Kč]
C _{dc}	celkové náklady na mzdy	[Kč]
C _e	průměrná cena elektřiny	[Kč/kWh]
C _{e1}	cena spotřebované energie na tabulových nůžkách	[Kč]
C _{ec}	vynaložené finance na el. energie na stroje	[Kč]
C _k	cena jednoho metru řezu v kooperaci	[Kč·m ⁻¹]
C _n	celková cena na pořízení nástrojů	[Kč]
CN	celkové náklady	[Kč]
CN _s	celkové náklady na střížný nástroj	[Kč]
CN _s	výrobní cena jednoho kusu	[Kč]
C _{nss}	náklady na střížný nástroj	[Kč]
Co	roční obrat	[Kč]
C _{od}	cena odpadu z jedné tabule	[Kč]
C _{oš}	cena výkupu odpadu	[Kč]
C _{pk}	cena za získání polotovaru v kooperaci	[Kč]
C _{ps}	náklady spojené se stříháním jednoho kusu	[Kč]
C _t	cena jedné tabule	[Kč]
D	zmenšující se průměr během tažení	[mm]
D ₀	průměr polotovaru	[mm]
d ₁	minimální průměr jakého lze docílit v 1. operaci	[mm]
d ₂₋₄	průměry výtažku v 2. až 4. operaci	[mm]
d _i	střední průměr výtažku pro první až i-tý tah	[mm]
d _n	n tý průměr možného výtažku	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
D_p	průměr přístřihu	[mm]
D_{pn}	výchozí průměr přístřihu spočítaný numerickou metodou	[mm]
D_{ps}	výchozí průměr polotovaru spočítaný pomocí Software	[mm]
d_s	střední průměr výtažku	[mm]
f	součinitel tření	[-]
F_{krit}	kritická síla při níž se utrhne dno	[N]
F_p	síla od přidržovače	[N]
F_t	tažná síla	[N]
F_{tc}	celková síla	[N]
F_v	síla vyhazovací	[N]
h	výška výtažku	[mm]
h_j	jmenovitý zdvih	[mm]
h_{l1}, h_{l2}, h_{l3}	vzdálenosti, které urazí beran lisu	[mm]
h_m	hloubka posunutí tažníku	[mm]
HV	tvrdost podle Vickerse	[-]
C_h	cena jedné hodiny pro zaměstnavatele	[Kč]
i_p	počet přístřihů na jedné tabuli	[-]
i_{p1}	počet polotovarů na jednom pásu	[ks]
i_v	celkový počet přístřihů na jedné tabuli	[ks]
K	stupeň tažení	[-]
k_i	opravný součinitel pro první až i-tý tah	[-]
l_x	poloha stopky	[mm]
l_{x1-4}	vzdálenosti tažníků od podpory	[mm]
M_1	součinitel tažení pro první operaci	[-]
M_2	součinitel tažení pro druhou operaci	[-]
M_c	celkový součinitel tažení	[-]
M_n	n-tý součinitel tažení	[-]
m_{od}	hmotnost odpadu z jedné tabule	[kg]
M_s	střední součinitel tažení pro 2 a další operaci	[-]
m_{tab}	hmotnost jedné tabule plechu	[kg]
n	počet tažných operací	[-]
NN	celkové nepřímé náklady	[Kč]
n_s	celkový počet kusů za rok	[ks]
n_{sp}	předpokládaný počet kusů za rok bez zmetkovitosti	[ks]
n_t	roční potřeba plechu	[ks]

Označení	Legenda	Jednotka
n_{z1}	počet možných střihů stroje	$[\text{min}^{-1}]$
n_{z2}	počet zdvihů strojů	$[\text{min}^{-1}]$
p	tlak přidržovače	$[\text{Mpa}]$
P_1	příkon tabulových nůžek	$[\text{kW}]$
P_2	výkon výstředníkového lisu	$[\text{kW}]$
PN	celkové přímé náklady	$[\text{Kč}]$
$PRNs$	celková cena výrobku	$[\text{Kč}]$
R	poloměr polotovaru	$[\text{mm}]$
Re	mez kluzu	$[\text{MPa}]$
Rm	mez pevnosti	$[\text{MPa}]$
R_{\max}	maximální redukce při tažení bez přidržovače	$[\%]$
R_n	poloměr zaoblení rohu v n-té tažné operaci	$[\text{mm}]$
r_{tc}	zaoblení tažnice	$[\text{mm}]$
r_{tv}	zaoblení tažníku	$[\text{mm}]$
s	výsledná tloušťka výtažku	$[\text{mm}]$
S	styková plocha mezi přidržovačem a přístřihem	$[\text{mm}^2]$
s_0	výchozí tloušťka plechu	$[\text{mm}]$
Sc	součet všech ploch	$[\text{mm}^2]$
SR	správné režie stanovená procentuálně vůči PN	$[\%]$
S_t	plocha tabule plechu	$[\text{mm}^2]$
t_{p1}	čas dělníka potřebný pro manipulaci s materiálem	$[\text{s}]$
t_{p2}	čas dělníka potřebný pro manipulaci s plechem	$[\text{s}]$
t_{p3}	čas obsluhy vozidla v jedné operaci	$[\text{s}]$
t_{s1}	výrobní čas pro tabulové nůžky v jedné operaci dělníka	$[\text{s}]$
t_{s2}	čas na vystřížení osmi kusů polotovaru	$[\text{s}]$
t_{v1}	celkový čas na nastřihání pasů na roční sérii	$[\text{h}]$
t_{v2}	čas potřebný na vystřížení celé série na výstředníkovém lisu	$[\text{s}]$
t_{v3}	čas potřebný na vytažení celé série	$[\text{h}]$
VN	variabilní náklady	$[\text{Kč}]$
VNs	variabilní náklady na jednu součást	$[\text{Kč}]$
VN_s	variabilné náklady na vystřížení polotovaru série	$[\text{Kč}]$
v_{pr}, v_p, v_z	pracovní rychlosti hydraulického stroje	$[\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}]$
VR	výrobní režie stanovená procentuálně vůči PN	$[\%]$
Z	materiálová konstanta	$[-]$
z_1	tažná mezera pro první tah	$[\text{mm}]$

Označení	Legenda	Jednotka
z_k	tažná mezera při kalibraci výtažku	[mm]
z_n	tažná mezera v posledním tahu	[mm]
ZV1	zisk v prvním roce výroby	[Kč]
ε	poměrné přetvoření	[-]
μ	využití tabule	[%]
ρ	obecný poloměr výtažku	[mm]
σ_0	ohybové napětí na tažné hraně	[Mpa]
σ_1	radiální tahové napětí	[Mpa]
σ_f	odpor tření mezi přidržovačem	[Mpa]
σ_{zmax}	maximální membránové napětí	[Mpa]
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	hlavní logaritmická přetvoření	[-]
$\varphi_{1max},$	maximální logaritmická přetvoření	[-]
φ_{3max}		
α	úhel opásání	[rad]
σ_d	deformační odpor	[Mpa]

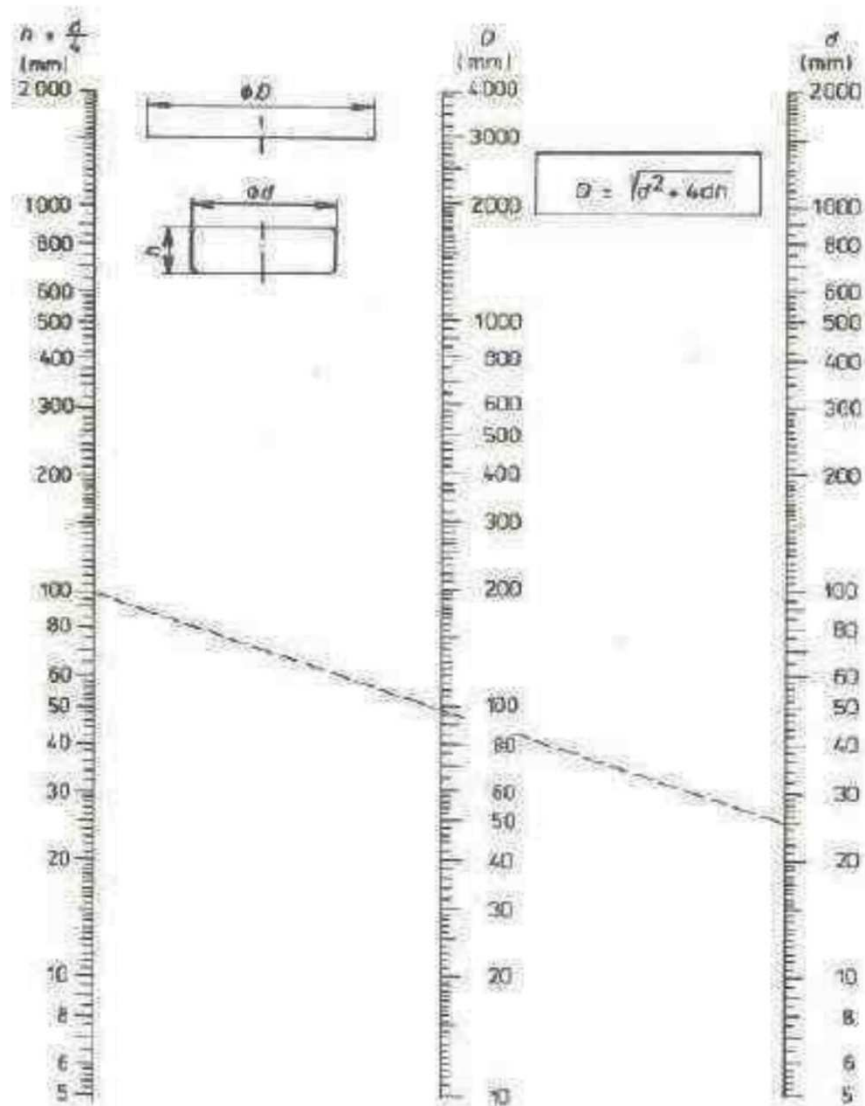
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1	nomogram pro určení velikosti přístřihu [23]
Příloha č.2	tabulky k výpočtům forejt [51]
Příloha č.3	molyduval [42]

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Výkres sestavy nástroje	01-DP-152375-01-1
Kusovník 1	04-DP-152375-01-2
Kusovník 2	04-DP-152375-01-3
Kusovník 3	04-DP-152375-01-4
Výkres Tažnice 1.tah	03-DP-152375-02
Výkres Tažnice 2.tah	03-DP-152375-03
Výkres Tažnice 3.tah	03-DP-152375-04
Výkres Tažnice 4.tah	03-DP-152375-05
Výkres Tažníku 1.tah	04-DP-152375-06
Výkres Tažníku 2.tah	04-DP-152375-07
Výkres Tažníku 3.tah	04-DP-152375-08
Výkres Tažníku 4.tah	04-DP-152375-09

Příloha č.1 [23]



Příloha č.2 [51]

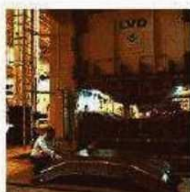
Přidavky na ostřížení válcových výtažků bez příruby				Tab. 3.1.
Výška výlisku	Velikost přidavku v mm při poměrné výšce výlisku $\frac{d}{h}$			
h [mm]	0,5 - 0,8	0,8 - 1,6	1,6 - 2,5	2,5 - 4
10	1,0	1,2	1,5	2,0
20	1,2	1,6	2,0	2,5
50	2	2,5	3,3	4,0
100	3	3,8	5,0	6,0
150	4	5,0	6,5	8,0
200	5	6,3	8,0	10,0
250	6	7,5	9,0	11,0
300	7	8,5	10,0	12,0

Vliv poměrné síly rondelu na koeficient tažení na první tah						Tab. 3.2.
	Poměrná síla rondelu $\frac{S}{D} \cdot 100$					
	2,0 - 1,5	1,5 - 1,0	1,0 - 0,6	0,6 - 0,3	0,3 - 0,15	0,15 - 0,08
m_1	0,48-0,50	0,50-0,53	0,53-0,55	0,55-0,58	0,58-0,60	0,60-0,63
m_2	0,73-0,75	0,75-0,76	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,80	0,80-0,82
m_3	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,80	0,80-0,81	0,81-0,82	0,82-0,84
m_4	0,78-0,80	0,80-0,81	0,81-0,82	0,82-0,83	0,83-0,85	0,85-0,86
m_5	0,80-0,82	0,82-0,84	0,84-0,85	0,85-0,86	0,86-0,87	0,87-0,88
Operace	Největší poměrná hloubka tažení $\frac{h}{d}$					
	0,94-0,77	0,84-0,65	0,70-0,57	0,62-0,5	0,52-0,45	0,46-0,38
1	0,94-0,77	0,84-0,65	0,70-0,57	0,62-0,5	0,52-0,45	0,46-0,38
2	1,88-1,54	1,60-1,33	1,36-1,1	1,13-0,94	0,96-0,83	0,9 - 0,7
3	3,5 - 2,7	2,8 - 2,2	2,3 - 1,8	1,9 - 1,5	1,6 - 1,3	1,3 - 1,1
4	5,6 - 4,3	4,3 - 3,5	3,6 - 2,9	2,9 - 2,4	2,9 - 2,0	2,0 - 1,5
5	8,9 - 6,6	6,6 - 5,1	5,2 - 4,1	4,1 - 3,3	3,3 - 2,7	2,7 - 2,0

Tlak přidržovače		Tab. 3.4.
Tvářený materiál	Tlak v MPa	
Hlubokotažná ocel do $s=0,5\text{mm}$	2,45 - 3	
Hlubokotažná ocel nad $s=0,5\text{mm}$	2 - 2,45	
Hliník	0,8 - 1,18	
Měď	1,18 - 1,76	
Mosaz	1,5 - 2,45	

Hodnoty koef. ψ_1 a ψ_2			Tab. 3.3.
$\psi_{krč.}$	ψ_1	ψ_2	
0,15-0,20	0,75	1,0	
0,25-0,30	0,80	1,1	
0,35-0,40	0,85	1,15-1,20	

MOLYDUVAL Moralub KFP 68



Metal Working Lubricant

A high viscosity, highly additive treated lubrication liquid for very heavy non-cutting metal forming operations e.g. cold moulding and deepdrawing of strong metals. Long tool life even in the range of boundary lubrication and reduced forming forces and tool wear at places with high surface presses.

Properties

- * high pressure ability
- * low evaporation
- * good wear protection under heavy duty conditions
- * minimum mist formation
- * low wear, long tool life
- * increases tool life
- * low friction coefficient
- * good tackiness
- * discolours non-ferrous metals

Applications

- * for tool and workpiece lubrication in cold metal forming like deep drawing or squeezing
- * for cold flow pressing
- * for hot screws, nuts, locks, at extreme high temperatures
- * for metal working of aluminium, copper and their alloys
- * for manufacturing of screws, nuts, discs, spark plugs, etc.

Technical Datas

Color		brown
Base Fluid		Min
Viscosity Class	ISO-VG	68
Density 20°C	kg/m ³	960
Viscosity 40°C	mm ² /s	68
Flash Point	°C	180